

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Псевдолинейный корректор для систем автоматического управления нестационарным объектом

УДК 681.51.01:621.372.55:004.415.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM81	Жуматай Абусамат Канатулы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский В. Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко М. В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ИШИТР	Пушкарев М. И.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов) Профессиональные компетенции
P1	Знать и уметь использовать основные положения теории автоматического управления, основные знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P3	Обладать способностью выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и управления.
P4	Планировать и проводить аналитические, имитационные, экспериментальные исследования и математическое моделирование для целей проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта.
P5	Демонстрировать работодателям свои конкурентные компетенции, связанные с современными методологиями и видами инновационной инженерной деятельности в области средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P6	Использовать международный опыт проектного, технологического менеджмента и управления бизнес-процессами для ведения инновационной инженерной деятельности в области средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров.
P8	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве члена или руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P9	Поддерживать физическое состояние организма, вести здоровый образ жизни, принимать ответственные решения в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
P10	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P11	Поддерживать физическое состояние организма, вести здоровый образ жизни, принимать ответственные решения в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ 24.02.2020 Пушкарев М. И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8AM81	Жуматай Абусамату Канатулы

Тема работы:

Псевдолинейный корректор для систем автоматического управления нестационарным объектом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№62-52/с от 02.03.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Система автоматического управления. Нестационарный объект управления. Псевдолинейное корректирующее устройство. Повышение качества регулирования.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Исследование псевдолинейного корректирующего устройства в программных пакетах MathCad и MatLAB. Моделирование и исследование системы автоматического регулирования с применением псевдолинейного корректирующего устройства в пакете MatLAB. Программная реализация псевдолинейного корректора на промышленном контроллере Simatic S7-300.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в формате *.pptx</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Горбенко Михаил Владимирович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение</p>	
<p>Раздел 3.1 Исследование амплитудного корректирующего устройства</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>24.02.2020</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Скороспешкин Максим Владимирович</p>	<p>К.Т.Н.</p>		<p>24.02.2020</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8AM81</p>	<p>Жуматай Абусамат Канатулы</p>		<p>24.02.2020</p>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Уровень образования - магистратура
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения - осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.06.2020	Основная часть	75
01.06.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
01.06.2020	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М. В.	к.т.н.		24.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пушкарев М.И.	к.т.н.		24.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM81	Жуматай Абусамату Канатулы

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 - Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 0,1 (см. МУ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
Разработка устава научно-технического проекта	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

«Портрет» потребителя результатов НТИ
Сегментирование рынка
Оценка конкурентоспособности технических решений
Диаграмма FAST
Матрица SWOT
График проведения и бюджет НТИ - выполнить
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - выполнить
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		24.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM81	Жуматай Абусамат Канатулы		24.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM81	Жуматай Абусамату Канатулы

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 -Управление в технических системах

Тема ВКР:

Псевдолинейный корректор для систем автоматического управления нестационарным объектом	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Псевдолинейный корректор для систем автоматического управления нестационарным объектом
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ТК РФ, №197-ФЗ (ред. от16.12.2019г., ст.219) “Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда”. ГОСТ 12.2.032-78 – Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 22269-76 – Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. ГОСТ 21889 -76 – Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Общие эргономические требования (с Изменением N1). ГОСТ 12.1.005-88 - Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N1).
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2.Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: 1. Запыленность воздуха рабочей среды; 2. Загазованность рабочей зоны; 3.Превышенный уровень шума;

	<p>4. Статическое электричество; 5. Электромагнитные поля и излучение; 6. Вибрация общая и локальная; 7. Недостаточная освещенность рабочей зоны; Мероприятий по снижению воздействия: 1. Гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88 и ГН 2.2.5.1313-03); 2. Гигиеническое нормирование вибраций (ГОСТ 12.1.012-90); 3. Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96; 4. Нормирование ЭМП промышленной частоты (СанПиН 2.2.4.1191-03);</p>
3. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – Источники выбросов в атмосферу; – Образование сточных вод и отходов; – Мероприятия по снижению вредного воздействия на ОС
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> – Пожар; – Взрыв; – Статическое электричество; <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожар; – Взрыв;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н.		24.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM81	Жуматай Абусамат Канатулы		24.02.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалифицированная работа содержит 183 страниц текста, 123 рисунков, 47 таблиц, 32 литературных источников.

Ключевые слова: *Линейное корректирующее устройство, Нелинейное корректирующее устройство, Псевдолинейное корректирующее устройство, переходный процесс, амплитудная частотная характеристика, фазовая частотная характеристика, адаптивная система управления, интегральная квадратичная критическая ошибка, ПИ-регулятор, ПИД-регулятор, программный пакет MatLab, контроллер Simatic S7-300, программный пакет Step7.*

Цель работы – провести исследование и анализ псевдолинейного корректирующего устройства для систем автоматического управления нестационарным объектом. Исследование свойств корректора с применением программных пакетов MatLAB и MathCAD. Программно реализовать псевдолинейное корректирующее устройство для систем автоматического управления нестационарным объектом с амплитунным подавлением на контроллере Simatic S7-300.

Реализованно и исследованно псевдолинейное корректирующее устройство для систем автоматического управления нестационарным объектом, выполняющее изменение постоянной времени в амплитудном канале при изменении параметров объекта.

Исследование псевдолинейного корректирующего устройства показало, что применение выбранного корректирующего устройства к системам автоматического управления позволяет улучшить качество системы управления при изменении параметров системы: уменьшается колебательность, уменьшается время регулирования и перерегулирование переходных процессов.

Область применения: отрасли промышленности, где необходимо применение адаптивных систем, использующих нечеткие регуляторы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обозначения и сокращения	13
ВВЕДЕНИЕ	16
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	16
1.1 Линейные корректирующие устройства	16
1.2 Нелинейные корректирующие устройства	18
1.3 Псевдолинейные корректирующие устройства	19
1.3.1. Корректирующее устройство с амплитудным ослаблением	21
1.3.2. Корректирующее устройство с фазовым опережением	24
1.3.3. Корректирующее устройство с отдельными каналами для амплитуды и фазы	27
1.4. Способы включения корректирующих устройств в САУ	31
1.5. Выбор корректирующих устройств.....	33
2 АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ.....	34
2.1. Функциональные особенности и назначения адаптивных систем.....	34
2.2. Структура и принцип работы адаптивных систем САУ.....	37
3 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПКУ В СРЕДАХ MATHCAD И MATLAB ...	39
3.1. Исследование амплитудного корректирующего устройства.....	39
3.2. Система управления с адаптивным амплитудным корректирующим устройствами.....	51
3.3. Реализация амплитудного КУ для САУ нестационарным объектом	54

4 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА КОНТРОЛЛЕРЕ SIMATIC S7-300.....	59
4.1 Состав и технические характеристики контроллера Simatic S7-300	59
4.2 Программа адаптивной САР с псевдолинейным на Step7	61
5 ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗУЧЕНИЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА»	70
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	71
7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
CONCLUSION	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	102
ПРИЛОЖЕНИЯ А	105
ПРИЛОЖЕНИЯ Б.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	124
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	127

Обозначения и сокращения

СУ – система управления;

САУ – система автоматического управления;

ОУ – объект управления;

САР – система автоматического регулирования;

ЛАЧХ – логрифмическая амплитудно-частотная характеристика;

ЛФЧХ – логарифмическая фазо-частотная характеристика;

НР – научный руководитель;

И – инженер;

НДС – налог на добавленную стоимость;

НИР – научная исследовательская работа;

ПК – персональный компьютер.

ПИД – пропорционально-интегрально-дифференцирующий;

ПКУ – псевдолинейные корректирующие устройства;

ЛКУ – линейные корректирующие устройства;

НКУ – нелинейные корректирующие устройства;

ПЛК – программируемый логический контроллер.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем современной теории управления является разработка обеспечения требуемого качества систем автоматического управления объектами с нестационарными параметрами.

Главным этапом проектирования является выбор типа и параметров корректирующих устройств. К этим же результатам приводят работы по методам синтеза оптимальных систем управления Л.С. Понтрягина и Н.Н. Красовского. Все это еще указывает на то, что проектирование систем управления различными методами приводит к необходимости выбора определенного типа линейных и нелинейных корректирующих устройств. Поэтому в последнее время корректирующим устройствам в системах автоматического регулирования уделяется значительное внимание.

Линейные корректирующие устройства (или четырехполюсники) имеют меньшие возможности в получении хороших показателей качества и точности процессов управления в системах автоматических регулирования. В виду этого в нынешнее время, в системах управления стали применяться нелинейные корректирующие устройства. Повышения требований к точности и качеству процессов управления, степени помехозащищенности и надежности действия систем дало большее распространение этого вида корректирующих устройств.

Для целей анализа и синтеза нелинейных систем широко применяются частотные методы. При таком подходе из большого разнообразия схем нелинейных устройств, пригодных для использования в цепях коррекции систем автоматического регулирования, может быть выделен некоторый класс нелинейных корректирующих устройств, эквивалентные амплитудные и фазовые соотношения которых не зависят от амплитуды входного сигнала. Это обстоятельство позволяет рассматривать нелинейные корректирующие устройства этого класса как псевдо-линейные. При этом следует иметь в виду, что в таких

устройствах отсутствует строгая связь между амплитудно-фазовыми соотношениями.

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена разработке, исследованию и программной реализации псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подвлиянием (ослаблением).

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

1.1 Линейные корректирующие устройства

Задача проектирования систем автоматического регулирования в наиболее общей постановке заключается в таком выборе схемы взаимодействия, способа технического осуществления, параметров и характеристик регуляторов и объекта регулирования, при котором требуемые динамические и эксплуатационные свойства всей системы в целом обеспечиваются при применении возможно более простых технических средств.

Большое значение для придания системе автоматического регулирования требуемых динамических свойств имеют так называемые корректирующие устройства, являющиеся элементами с легко изменяемыми параметрами и характеристиками.

В этой проблеме основное значение имеет обеспечение запаса устойчивости и быстродействия. Это видно из того, что стремление снизить ошибки системы регулирования приводит, как правило, к необходимости применить такие параметры общего коэффициента усиления, при которых без принятия дополнительных мер система в целом оказывается неустойчивой.

Корректирующие устройства используются для получения устойчивости системы регулирования или повышение ее запаса устойчивости.

Все корректирующие устройства, применяемые в системе автоматического управления, можно разделить на линейные и нелинейные и псевдолинейные корректирующие устройства.

Линейные корректирующие устройства имеют ряд достоинств и широко применяются для улучшения динамических свойств как линейных, так и нелинейных автоматических систем. Вместе с тем линейным корректирующим

устройствам свойственны и недостатки. К ним, в частности, следует отнести полную зависимость между амплитудными и фазовыми частотными характеристиками. Так, например, дифференцирующие фазоопережающие цепи создают опережение, но одновременно вносят подавления усиления в области низких частот, т. е. в области спектра полезного сигнала. Этим объясняется низкая помехоустойчивость дифференцирующих цепей. Интегрирующие корректирующие контуры подавляют высокие частоты, но при этом создают запаздывание колебаний по фазе, что приводит к ухудшению переходных процессов и т. д. В то же время было бы желательно, чтобы корректирующие устройства создавали опережение по фазе без изменения амплитудной составляющей, подавляли усиления амплитуды без изменения фазовой составляющей, обеспечивали опережение по фазе и одновременно подавляли амплитудную составляющую. Эти задачи могут быть решены с помощью нелинейных корректирующих устройств.

Кроме указанных недостатков, линейные корректирующие устройства имеют ограниченные возможности в получении требуемых показателей качества в автоматических системах. Например, если в линейной системе для повышения быстродействия (уменьшения времени установления t_y) увеличивать коэффициент усиления разомкнутой системы k_p , то это приводит к уменьшению запаса устойчивости, увеличению колебательности переходного процесса. Для иллюстрации сказанного на рисунке 1.1.1 приведены кривые 1 и 2 переходных процессов линейной систем автоматического управления при коэффициентах усиления k_{p1} и k_{p2} соответственно ($k_{p2} > k_{p1}$).

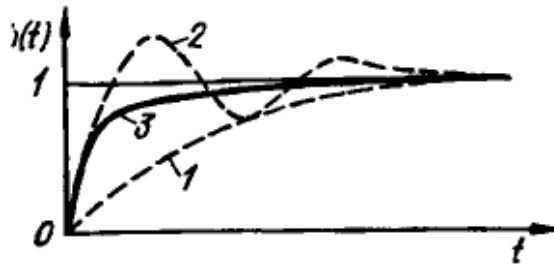


Рисунок 1.1.1 – Переходные процессы САУ при линейной [1 и 2] и нелинейной [3] коррекции.

1.2. Нелинейные корректирующие устройства

В результате применения нелинейной коррекции, может быть получен желаемый процесс, изображенный, например, на рисунке 1.1.1 кривой 3. Как видно из рисунка, он сочетает необходимые свойства процессов 2 и 1: начальная часть процесса 3 совпадает с процессом 2 линейной системы, вследствие чему обеспечивается высокое быстродействие системы, а окончание процесса 3 подобно окончанию процесса 1, т. е. является монотонным. При больших θ значение k_p должно быть большим, чтобы обеспечить быстрое уменьшение ошибки (начальный участок кривой 3), а по мере уменьшения θ значение k_p должно уменьшаться для завершения переходного процесса без перерегулирования. Такое изменение k_p может быть реализовано, например, с помощью простейшего последовательного нелинейного корректирующего устройства (рисунок 1.2.1, а). При больших значениях напряжения ошибки u_θ нелинейное сопротивление R_1 мало и поэтому коэффициент усиления цепи $k_1 = R_2 / (R_1 + R_2)$ велико. По мере уменьшения u_θ нелинейное сопротивление R_1 увеличивается, а коэффициент усиления k_1 уменьшается. Примерный график зависимости k_1 от u_θ изображен на рисунок 1.2.1, б. По такому же графику будет изменяться и коэффициент усиления системы k_p . Недостаток коррекции с

помощью рассматриваемого корректирующего устройства состоит в том, что оно изменяет лишь k_p системы, не компенсируя при этом вредное влияние инерционностей ее элементов. Из-за этого получаются малые значения k_p в установившихся динамических режимах, следовательно, большие динамические ошибки системы.

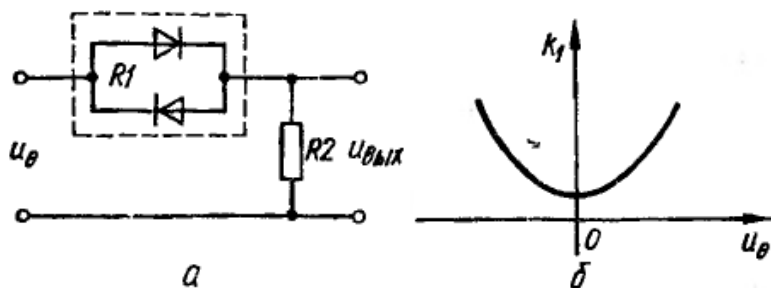


Рисунок 1.2.1 – Последовательное нелинейное корректирующее устройство (а) и его характеристика $k_1 = f(u_\theta)$ (б).

1.3 Псевдолинейные корректирующие устройства

Среди нелинейных корректирующих устройств можно выделить класс таких устройств, амплитудно-фазовые характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала и являются только функциями частоты. У этих устройств отсутствует полная связь между амплитудной составляющей и фазовой характеристиками, как это имеет место у линейных корректирующих устройств. На этом основании нелинейные корректирующие устройства данного класса можно рассматривать как псевдолинейные корректирующие устройства. Возможность формирования амплитудной и фазовой характеристик псевдолинейных корректирующих устройств независимо друг от друга открывает огромные возможности изменения частотных характеристик систем автоматического управления в желаемом направлении.

При решении задачи стабилизации замкнутых систем управления для создания необходимых запасов устойчивости требуется не только избежать охвата критической точки $(-1, j0)$ годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы, но и обеспечить его необходимое удаление от этой точки.

Можно утверждать, что наиболее желательными корректирующими устройствами были бы такие, частотные характеристики которых имеют один из трех видов, представленных на рисунке 1.3.1 и соответственно обеспечивающих ослабление усиления с ростом частоты без изменения фазы (рисунок 1.3.1,а); увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления (рисунок 1.3.1,б); ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты (рисунок 1.3.1,в).

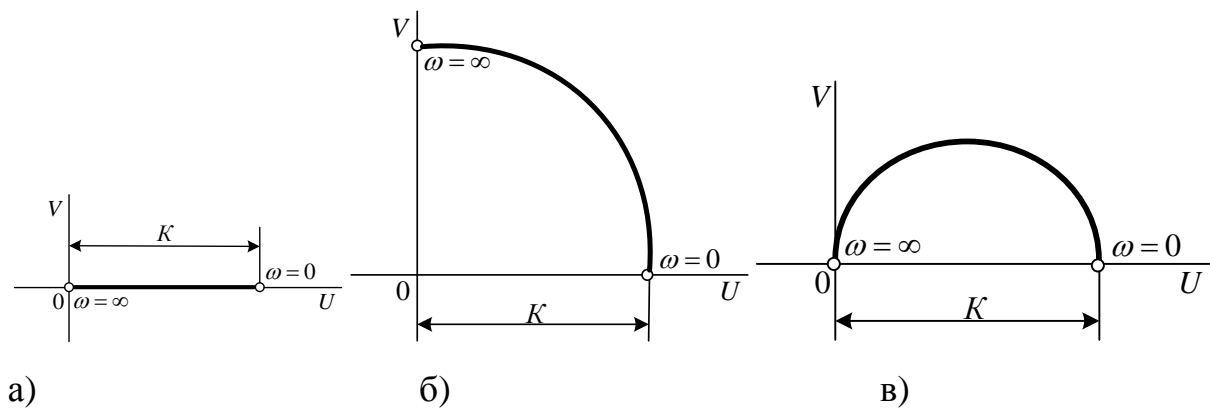


Рисунок 1.3.1 – Вид амплитудно-фазовых характеристик корректирующих устройств: а – подавление амплитуды с ростом частоты без изменения фазы; б – увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления; в – подавление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты

Использование корректирующего устройства в системе управления с частотной характеристикой, показанной на рисунке 1.3.1,а, позволяет изменить амплитудную характеристику, не изменяя фазовую характеристику.

В случае применения корректирующего устройства с характеристикой, изображенной на рисунке 1.3.1,б, видоизменяется фазовая характеристика системы, амплитудная же остается прежней.

1.3.1 Корректирующее устройство с амплитудным подавлением (ослаблением)

Псевдолинейное корректирующее устройство, позволяющее получить ослабление амплитуды с ростом частоты без изменения фазовой составляющей (характеристика на рисунке 1.3.1.а), может быть выполнено по схеме, показанной на рисунке 1.3.2.

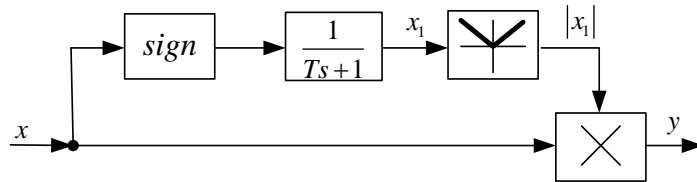


Рисунок 1.3.2 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным ослаблением

Входной сигнал, разветвляясь, проходит по двум каналам. Верхняя ветвь устройства состоит из блока *signatur*, фильтра низких частот, блока взятия модуля. По нижней ветви входной сигнал следует без изменения. Сигнал на выходе устройства получается как умножение выходных сигналов обеих ветвей $y = |x_1|x$, причем x_1 определяется уравнением $Tx_1 + x_1 = \text{sign}(x)$.

На входе фильтра действует синусоидальный сигнал $y = F(x)$, в виде:

$$x_1 = x_{10} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \pm (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (1)$$

$$\text{где } x_{10} = \mp \frac{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}{1 + e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}$$

Причем верхний знак в этих выражениях берется при положительной полувольте входного сигнала x . Форма сигналов в характерных точках фильтра показана на рисунке 1.3.3.

Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейного фильтра определяются по известным формулам и для нашего случая будут иметь вид:

$$\alpha = 1 - \frac{2 \cdot \alpha}{\pi} + \frac{2 \cdot \sin \alpha}{\pi(1 + 4 \cdot \omega^2 \cdot T^2)} \cdot (\cos \alpha - 2 \cdot \omega \cdot T \cdot \sin \alpha) \quad (2)$$

$$b = -\frac{2 \cdot \sin \alpha}{\pi(1 + 4 \cdot \omega^2 \cdot T^2)} \cdot (\sin \alpha - 2 \cdot \omega \cdot T \cdot \cos \alpha) \quad (3)$$

Причем α будет иметь следующий вид:

$$\alpha = \omega \cdot T \cdot \ln \frac{2}{2 + e^{-\frac{\pi}{\omega \cdot T}}} \quad (4)$$

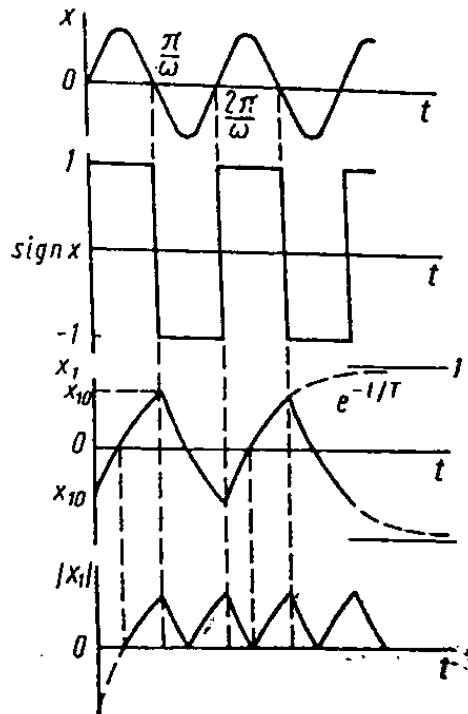


Рисунок 1.3.3 - Форма сигналов в характерных точках нелинейного элемента с амплитудным подавлением для случая синусоидального входного сигнала

Полученные выражения свидетельствуют о том, что коэффициенты гармонической линеаризации a и b зависят только от частоты, поэтому амплитудная $q(\omega)$ и фазовая характеристики $\mu(\omega)$ рассматриваемого нелинейного элемента также зависят только от частоты и не зависят от амплитуды входного сигнала, т.е.:

$$q = f(\omega); \quad (5)$$

$$\mu = f(\omega). \quad (6)$$

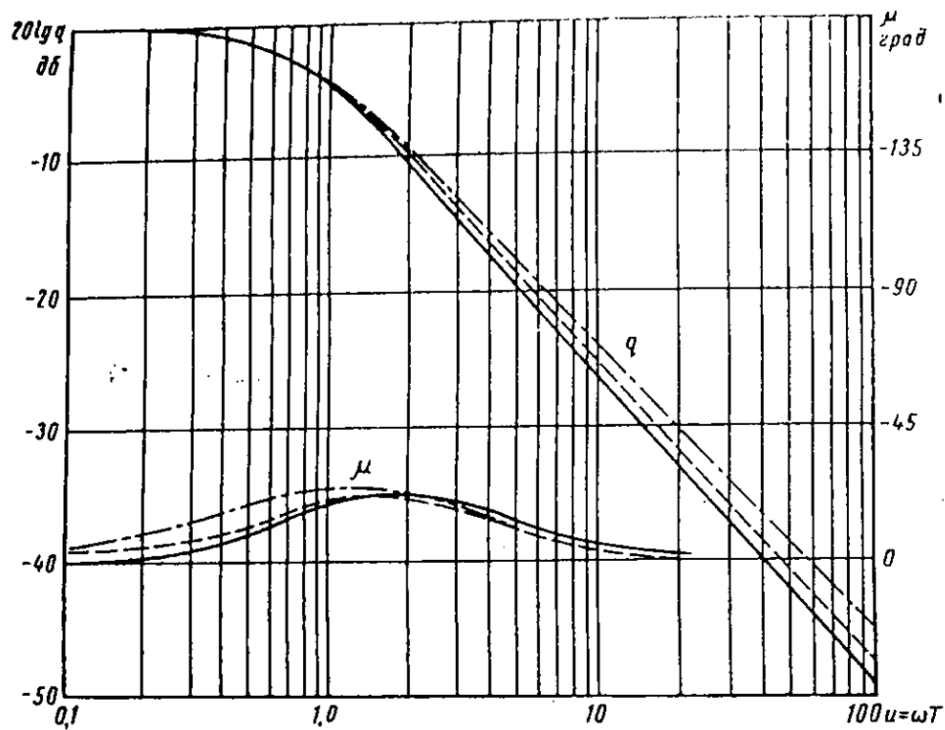


Рисунок 1.3.4 - Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики нелинейного элемента с амплитудным подавлением

Если пренебречь влиянием высших гармоник меандра $\text{sign } x$ (см. рисунок 1.3.3), т.е. считать сигнал на выходе блока сигнатуры синусоидальным, то, получим упрощенные формулы для расчета a и b :

$$\alpha = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \cos 2\theta\right), \quad (7)$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \sin 2\theta\right), \quad (8)$$

где $\theta = -\arctg \omega \cdot T$

Логарифмические частотные характеристики фильтра $g(\omega)$ и $\mu(\omega)$ показаны штриховыми линиями.

Рассмотренная схема псевдолинейной коррекции может быть использована для увеличения запасов устойчивости и быстрействия в системах автоматического управления, в которых возможно применение способа демпфирования, известного в линейных системах как демпфирование с подавлением высоких частот.

1.3.2 Корректирующее устройство с фазовым опережением

Примером схемы псевдолинейной коррекции, позволяющей получить фазовое опережение без изменения амплитуды, может служить схема, приведенная на рисунке 1.3.5

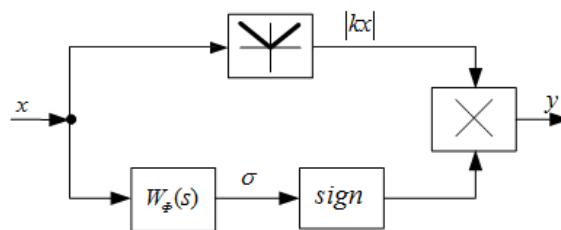


Рисунок 1.3.5 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Входной сигнал, разветвляясь, также проходит по двум каналам. Верхняя ветвь устройства состоит из блока выделения модуля. Нижняя ветвь – из

линейного фильтра и блока сигнатуры. Сигнал на выходе получается как умножения модуля сигнала $|kx|$ на функцию знака $sign(x)$, где σ является выходом линейного фильтра $W_\phi(s)$, создающего положительный сдвиг.

Заметим, что при фиксированном значении частоты ω входного сигнала нелинейный фильтр может быть заменен нелинейностью, имеющей статическую характеристику по типу опережающей гистерезисной петли, при условии, что линейный фильтр W_ϕ на этой частоте создает сдвиг, равное α , величина которого зависит от выбора его параметров. Эти характеристики приведены на рисунке 1.3.6.

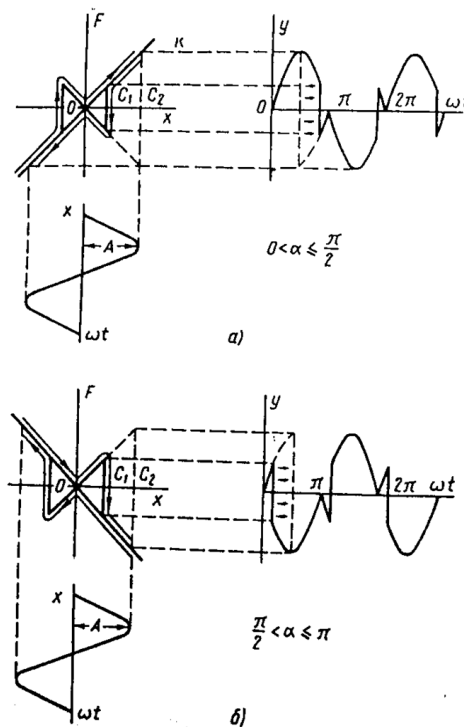


Рисунок 1.3.6 - Нелинейные характеристики:

a – при фазовом опережении до 90° ; $б$ – при фазовом опережении от 90° до 180°

Вид характеристики на данном рисунке подтверждает независимость коэффициентов a и b гармонической линеаризацией такой нелинейности от амплитуды входного сигнала.

Если в схеме используется линейный фильтр с ПФ вида $W(s) = \frac{T \cdot s + 1}{T_1 \cdot s + 1}$, то создаваемое им опережение будет равно:

$$\alpha = \arctg \frac{\omega \cdot T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 \cdot T^2 \cdot \nu}, \quad (9)$$

где $\nu = \frac{T_1}{T}$.

Тогда коэффициенты a и b будут вычисляться по следующим формулам:

$$a = \frac{k}{\pi} \cdot (\pi - 2 \cdot \alpha + \sin 2\alpha) \quad (10)$$

$$b = \frac{k}{\pi} \cdot (1 - \cos 2\alpha) \quad (11)$$

Логарифмические частотные характеристики псевдолинейного фильтра при значении $k = 1$ показаны на рисунке 1.3.7. Они построены в функции приведенной частоты $u = \omega T$ для ряда значений ν .

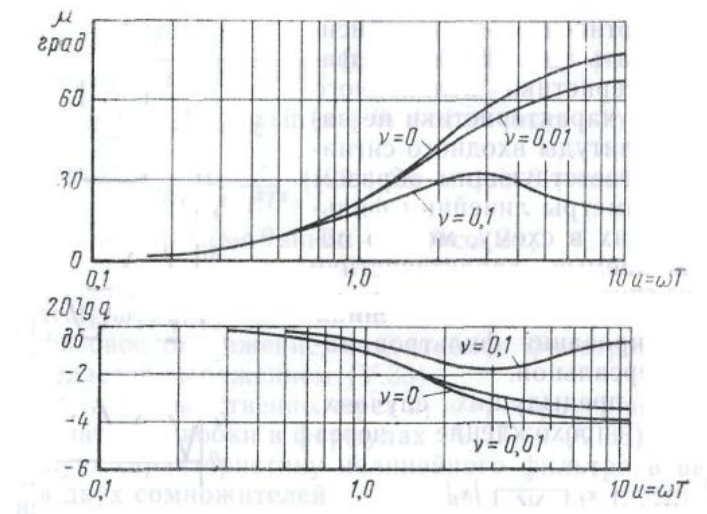


Рисунок 1.3.7 - Логарифмические частотные характеристики нелинейного элемента с фазовым опережением:

a – фазовые; b – амплитудные;

Не учитывая создаваемого псевдолинейным фильтром ослабления, максимальное значение которого не превышает -4дБ , можно считать, что его частотные характеристики отвечают требованиям желаемого вида (см. рисунок 1.3.7,б), т.е. обеспечивают фазовое опережение с ростом частоты без изменения амплитуды. Схема может использоваться вместо линейной схемы коррекции в системах, где для демпфирования требуется вводить фазовое опережение.

1.3.3 Корректирующее устройство с отдельными каналами для амплитуды и фазы

Схема псевдолинейной коррекции, представленная на рисунке 1.3.8, позволяет получить различные амплитудно-фазовые соотношения, т.е. относительно независимо формировать амплитудную и фазовую характеристики. Эти характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала. Соответствующим образом, изменяя параметры линейных элементов, входящих в схему, можно получить желаемые характеристики любого из видов, показанных на рисунке 1.3.1. Поэтому предложенная схема формирования корректирующих устройств является универсальной. Для общего случая линейный элемент W_ϕ в фазовой ветви является форсирующим звеном, а фильтр W_A в амплитудной ветви – элементом, создающим ослабление амплитуды и отставание по фазе.

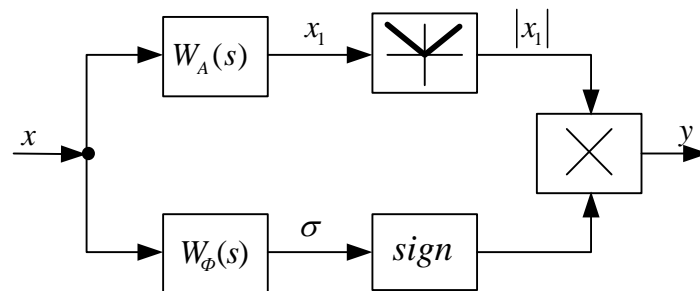


Рисунок 1.3.8 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы

Входной сигнал разветвляется и проходит по двум каналам. Один из каналов (верхний) служит для формирования амплитудной характеристики и называется амплитудным, второй - фазовый канал формирует фазовую характеристику устройства.

Амплитудный канал состоит из линейного элемента с передаточной функцией $W_A(s)$ и модульного элемента (например, двухполупериодного выпрямителя). Амплитудная характеристика линейного элемента определяет амплитудную характеристику всего корректирующего устройства. Модульный элемент дает на выходе величину, пропорциональную амплитуде колебания на его входе и исключает прохождение информации о фазе входного сигнала X . Фильтр служит для выделения постоянной составляющей выпрямленного напряжения.

В фазовый канал входят линейный элемент с передаточной функцией $W_\phi(s)$ и блок sign (блок знака). Фазовая характеристика линейного элемента определяет фазовую характеристику всего корректирующего устройства. Блок сигнатуры исключает прохождение информации об амплитуде через фазовый канал и представляет собой релейное устройство с характеристикой, близкой к идеальной. При изменении знака сигнала на входе изменяется знак выходного сигнала блока сигнатуры, а величина его принимает лишь два фиксированных значения ± 1 , независимо от значения амплитуды входного сигнала. Выходная величина Y корректирующего устройства получается в результате перемножения выходных величин амплитудного и фазового каналов в блоке умножения.

Приведенная на рисунке 1.3.8 структурная схема псевдолинейного корректирующего устройства является довольно общей. Выбирая линейные элементы с соответствующими передаточными функциями $W_A(s)$ и $W_\phi(s)$, можно реализовать псевдолинейное корректирующее устройство с желаемыми, независимыми друг от друга амплитудой и фазовой частотными характеристиками.

Форма сигналов в характерных точках схемы будет соответствовать сигналам, приведенным на рисунке 1.3.9.

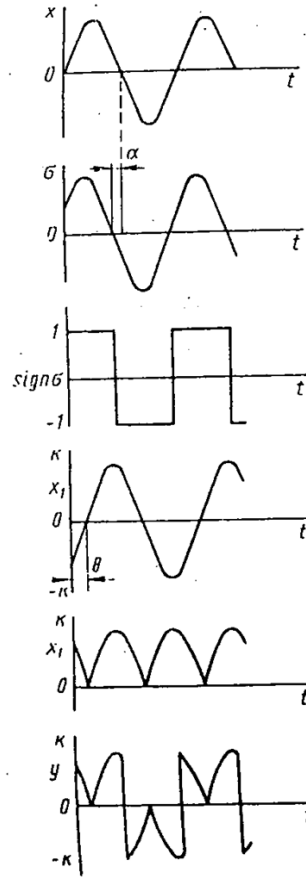


Рисунок 1.3.9 - Формы сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с разделенными каналами для амплитуды и фазы

После того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации, частотные характеристики нелинейного фильтра с разделенными каналами для амплитуды и фазы вычисляются по известным уже формулам:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (12)$$

$$\mu(A, \omega) = \arctg \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)} \quad (13)$$

Пусть линейный элемент W_ϕ в фазовой ветви имеет передаточную функцию $W_\phi(s) = \frac{T_1}{T} \cdot \frac{T \cdot s + 1}{T_d \cdot s + 1}$, а в амплитудной ветви применен линейный элемент W_A с передаточной функцией вида:

$$W_A(s) = \frac{k}{T_2 \cdot s + 1} \quad (14)$$

Обозначим отношение $\frac{T_2}{T}$ через γ , а $\frac{T_1}{T}$ через ν , тогда выражение для определения a и b можно записать в виде:

$$a = \frac{k}{\pi \sqrt{1 + \omega^2 \cdot \gamma^2 \cdot T^2}} \cdot [(\pi - 2\alpha - 2\theta) \cdot \cos \theta + \sin \theta + \cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \theta) + \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \theta)]; \quad (15)$$

$$b = \frac{k}{\pi \sqrt{1 + \omega^2 \cdot \gamma^2 \cdot T^2}} \cdot [(2\theta + 2\alpha - \pi) \cdot \sin \theta + \cos \theta + \sin \theta \cdot \sin 2\alpha - \cos \theta \cdot \cos 2\alpha], \quad (16)$$

где $\theta = \arctg \omega \gamma T$ – фазовое запаздывание, вносимое фильтром W_A ;

$\alpha = \arctg \frac{\omega \cdot T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 \cdot T^2 \cdot \nu}$ – фазовое опережение, создаваемое фильтром W_ϕ .

Определим амплитудную характеристику нелинейного элемента в виде произведения двух сомножителей:

$$q(\omega) = H_A(\omega) \cdot q_1(\omega), \quad (17)$$

где $H_A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 \gamma^2 T^2}}$ – амплитудная характеристика фильтра W_A .

Второй сомножитель $q_1(\omega)$ характеризует дополнительное ослабление амплитуды, происходящей в нелинейном элементе, и равен:

$$q_1(\omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{(a_1)^2 + (b_1)^2}, \quad (18)$$

где $a_1 = (\pi - 2\alpha - 2\theta) \cdot \cos \theta + \sin \theta + \cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \theta) + \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \theta)$;

$b_1 = (2\theta + 2\alpha - \pi) \cdot \sin \theta + \cos \theta + \sin \theta \cdot \sin 2\alpha - \cos \theta \cdot \cos 2\alpha$.

Логарифмические характеристики, выражающие зависимость q_1 и μ_1 от приведенной частоты $u = \omega T$ для ряда значений γ и ν , показаны на рисунке 1.3.10.

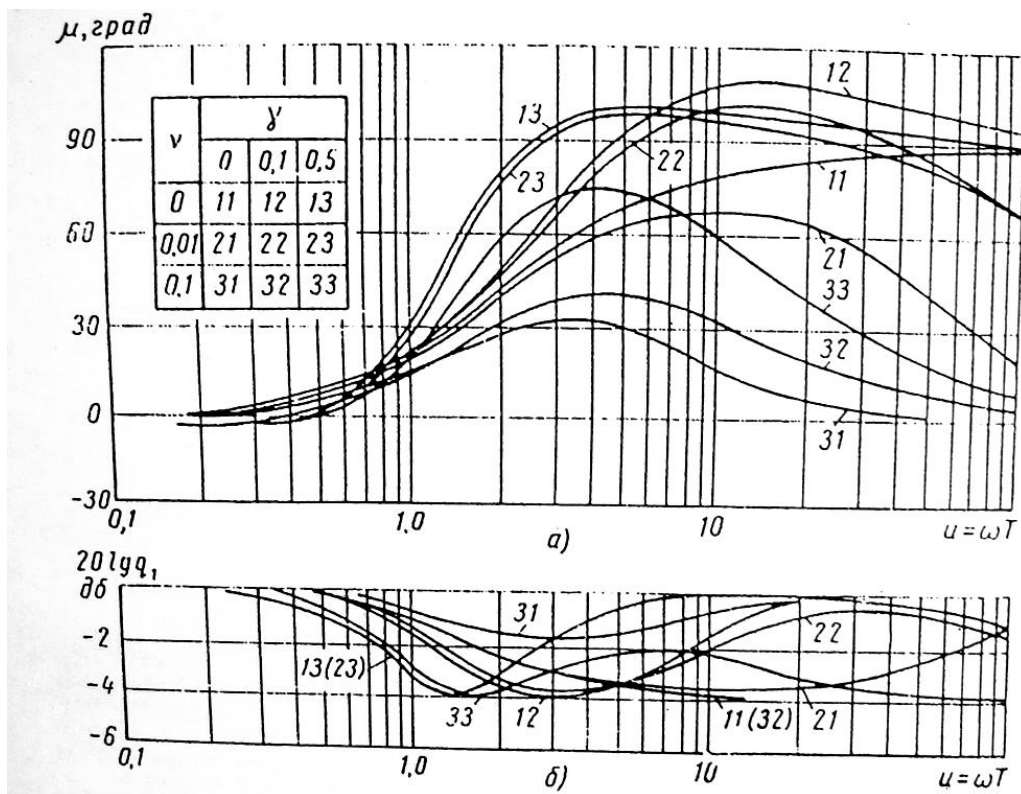


Рисунок 1.3.10 - Логарифмические частотные характеристики нелинейного элемента с
раздельными каналами для амплитуды и фазы:
 a – фазовое; b – характеристики ослабления амплитуды

1.4 Способы включения корректирующих устройств в систему регулирования

По способу включения корректирующих звеньев в системах автоматического регулирования различают:

1. Последовательные корректирующие устройства.
2. Параллельные корректирующие устройства.
3. Корректирующие устройства по внешнему воздействию.
4. Неединичная главная обратная связь.

Рассмотрим способы включения:

1. Последовательные корректирующие устройства

На рисунке 1.4.1, а представлена схема введения в цепь регулирования корректирующего устройства последовательного типа (корректирующие фильтры). Они могут описываться различными передаточными функциями $W_K(s)$. Тогда результирующая передаточная функция разомкнутой системы будет $W(s) = W_K(s)W_O(s)$, причем во втором варианте (рисунок 1.4.1,б) имеем $W_K(s) = W_{O1}(s) + W_{K1}(s)$, где $W_O(s), W_{O1}(s)$ - передаточные функции заданных частей системы.

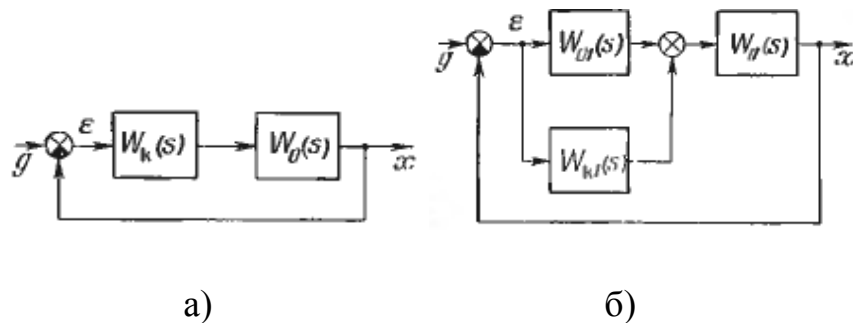


Рисунок 1.4.1 – Схемы включения корректирующих устройств последовательного типа.

Корректирующие устройства последовательного действия являются наиболее простыми и применяются в таких системах регулирования, в которых практически отсутствуют сигналы шумов.

2. Параллельные корректирующие устройства

На рисунке 1.4.2 представлена схема введения в цепь регулирования корректирующего устройства параллельного типа в виде дополнительных местных обратных связей $W_{OC}(s)$, когда $W(s) = \frac{W_{O1}(s)W_O(s)}{1 + W_{OC}(s)W_{O1}(s)}$.

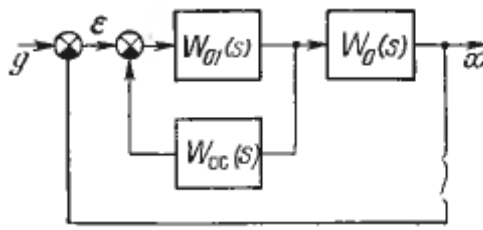


Рисунок 1.4.2 – Схема включения корректирующих устройств параллельного типа

Совместным включением последовательного и параллельного корректирующих устройств можно избежать недостатков, присущих каждому из них в отдельности, и получить высококачественную систему автоматического регулирования.

Параллельные корректирующие устройства рассмотрены в виде обратных связей. Основные виды корректирующих обратных связей:

1. Жесткая обратная связь $W_{oc}(s) = k_{oc}$;
2. Инерционная жесткая обратная связь $W_{oc}(s) = \frac{k_{oc}}{T_{oc}s + 1}$;
3. Гибкая обратная связь $W_{oc}(s) = k_{oc}s$;
4. Инерционная гибкая обратная связь $W_{oc}(s) = \frac{k_{oc}s}{T_{oc}s + 1}$.

1.5 Выбор корректирующих устройств

Линейные корректирующие устройства имеют ряд достоинств и широко применяются для улучшения динамических свойств как линейных, так и нелинейных автоматических систем. Однако недостатком этих корректирующих устройств является жесткая зависимость между амплитудными и фазовыми частотными характеристиками.

Необходимо выбрать корректирующие устройства, позволяющие формировать амплитудную и фазовую частотные характеристики независимо друг от друга.

В данной работе для реализации регулятора в качестве корректирующего устройства выбрано псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением (ослаблением). Структурная схема КУ приведена выше на рисунке 1.3.2.

В состав выбранного корректирующего устройства входят блок сигнатуры, блок взятия по модулю, блок умножитель и линейный фильтр: апериодическое звено первого порядка $W_A(s) = \frac{k}{Ts + 1}$.

Улучшение качества регулирования систем автоматического регулирования осуществляется внесением параметра постоянной времени T в амплитудный корректор (изменением параметра T линейного элемента $W_A(s)$).

2 АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ

2.1 Функциональные особенности и назначения адаптивных систем

Адаптивными, или самоприспосабливающимися системами называют системы, автоматически приспособляющиеся к изменениям свойств объекта управления и внешних условий, при этом обеспечивая требуемое качество управления с помощью изменения параметров управляющего воздействия и его схемы.

Примером непостоянных внешних условий, для которых необходимо использование адаптивных систем автоматического управления, являются случайные нестационарные внешние воздействия на систему, характеристики которых (например, спектральная плотность) изменяются в широких пределах.

Для увеличения точности системы требуется изменение настроек звеньев коррекции при изменении характеристик внешних воздействий. Указанную перенастройку в некоторых случаях способен выполнять человек. При использовании адаптивных систем автоматического управления перенастройка звеньев коррекции осуществляется автоматически.

Для адаптивных систем характерным признаком является отсутствие полной начальной информации об объекте управления, граничных условиях и внешних возмущениях. Иными словами, адаптивной системе свойственна неопределенность (индетерминизм). Функционирование адаптивной системы направлено на нахождение состояния системы, при котором реализуется заданная цель управления.

Адаптивным управлением называется совокупность методов теории управления, которые позволяют осуществить синтез системы управления, способных изменять структуру или параметры регулятора при изменении параметров объекта управления или появлении внешних возмущений, которые воздействуют на объект управления.

Основной идеей адаптивного управления является компенсация взаимовлияния неопределенности и нестационарности объекта управления с помощью введения другой нестационарности в регулятор.

На рисунке 2.1.1 приведена общая схема адаптивной системы управления:

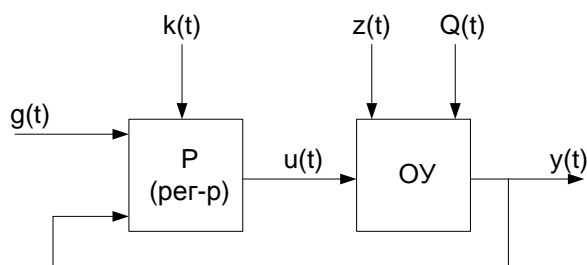


Рисунок 2.1.1 – Схема адаптивной системы управления:

$z(t)$ – возмущение;

$Q(t)$ – нестационарность параметров ОУ.

Имеется три свойства, в общем характеризующих процесс адаптации:

1. Для всей системы рабочие характеристики постоянно находятся под контролем и управлением дополнительных устройств и элементов.
2. Количественно оцениваются все операции и характеристики в системе.
3. При изменении показателя качества, для достижения им оптимального значения, параметры устройства управления изменяют с помощью дополнительных устройств, таким образом, изменяя параметры всей системы.

Необходимость применения адаптивных систем возникает в случае неполной информации о проектируемой системе, т.е. когда не известны параметры объекта и точные характеристики их изменения во времени; внешние возмущения; задающие или управляющие воздействия. Такая ситуация возникает во многих производствах.

Для большого класса объектов при разработке унифицированных регуляторов их параметры заранее не могут быть точно установлены и рассчитаны. Таким образом, если данные регуляторы неадаптивные, то в каждом конкретном случае они требуют настройки.

Использование адаптивного управления обеспечит:

- оптимальный режим работы система автоматического управления в условиях неполной начальной информации;
- работоспособность всей системы управления в условиях варьирования динамических свойств объекта управления в широких пределах;
- унифицированность регуляторов для широкого класса объектов;
- снижение технологических требований к изготовлению отдельных элементов и узлов;

- сокращение сроков разработки и наладки систем автоматического управления.

2.2 Структура и принцип работы адаптивных систем автоматического регулирования

Адаптивная систем автоматического управления имеет следующую структуру (рисунок 2.2.1):

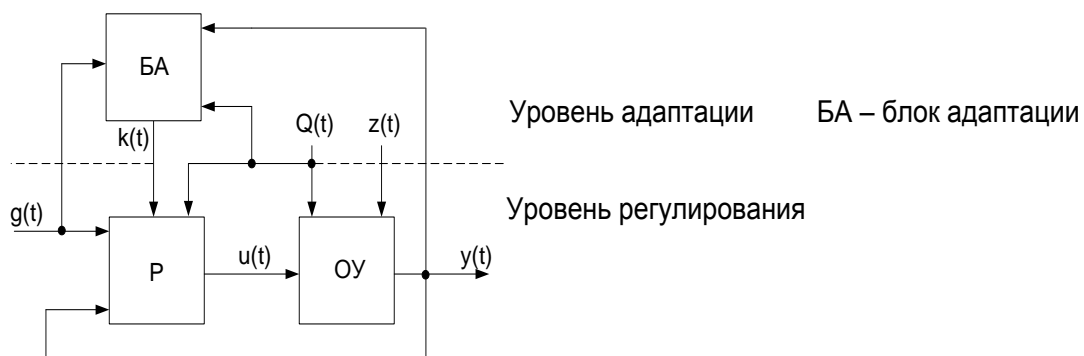


Рисунок 2.2.1 – Структура адаптивной систем автоматического управления

Имеется два уровня адаптивной системы управления.

Задачи регулирования решаются на нижнем уровне. В зависимости от характера задающего воздействия эти задачи делятся на задачи стабилизации, задачи программного управления и задачи слежения.

Задача оптимизации или стабилизации характеристик основного контура систем управления в условиях изменения динамических свойств объекта управления решаются на верхнем уровне.

Автоматическая адаптация, которая осуществляется блоком адаптации, может быть реализована в виде разомкнутой, комбинированной или замкнутой системы.

В адаптивных системах в процессе работы системы автоматически пополняется информация об изменении параметров объекта и характеристик внешних воздействий. В соответствии с данной рабочей информацией алгоритм управления системы изменяется автоматически, таким образом, обеспечивая требуемое или оптимальное качество управления объектом в изменяющихся условиях работы. Автоматическое изменение вида алгоритма управления и коэффициентов, в соответствии с которыми и формируется управляющее воздействие, основывается на изменении параметров, уставки и структуры устройства управления и требует введения в систему дополнительных устройств.

В общем виде функциональная схема адаптивной системы изображена на рисунке 2.2.2:

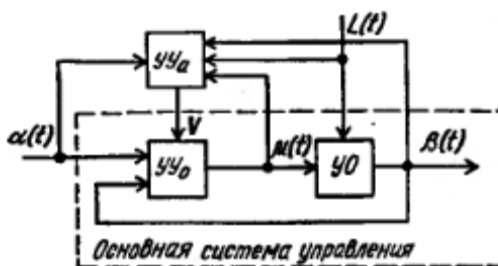


Рисунок 2.2.2 – Обобщенная функциональная схема адаптивной системы.

В зависимости от назначения, основная система решает задачу стабилизации или программного управления, а устройство управления автоматической адаптации настраивает устройство управления основной системы, изменяя ее структуру или параметры для обеспечения требуемого процесса управления в изменяющихся условиях работы. С этой целью устройством управления автоматической адаптации измеряет внешние воздействия $\alpha(t)$ и $L(t)$, а также выходную и входную величины объекта $\mu(t)$ и $\beta(t)$. Согласно этим данным производится определение значения критерия качества управления $J(\beta(t), \alpha(t), \mu(t), L(t))$. Согласно алгоритму работы устройства управления автоматической адаптации определяет текущее отклонение критерия качества от

требуемого значения и подает воздействие на устройство управления основной системы, ликвидирующее текущее отклонение. Служить причиной изменения критерия качества может изменение внешних условий работы, иными словами, изменение характеристик воздействий $\alpha(t)$ и $L(t)$ или изменение свойств основного контура, т.е. операторов объекта управляемого объекта и основного устройства управления.

Для реальных систем условия работы часто таковы, что для входных сигналов и помех характеристики либо известны неточно, либо существенно изменяются во времени. Параметры самих таких систем управления, в особенности аналоговых, могут также быть подвержены определенным случайным изменениям. В этом случае качество работы систем автоматического управления, спроектированной для неизменяющихся условий работы, может оказаться на практике существенно ниже требуемого. Этого избежать позволит использование адаптивных систем, для которых параметры и структура при изменении внешних условий изменяются автоматически, тем самым поддерживая режим работы, близкий к оптимальному.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПСЕВДОЛИНЕЙНЫХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СРЕДАХ MATHCAD И MATLAB

3.1 Исследование амплитудного корректирующего устройства

В данной работе качестве корректирующего устройства выбрано псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением (ослаблением), схема которого представлена на рисунке 3.1.1.

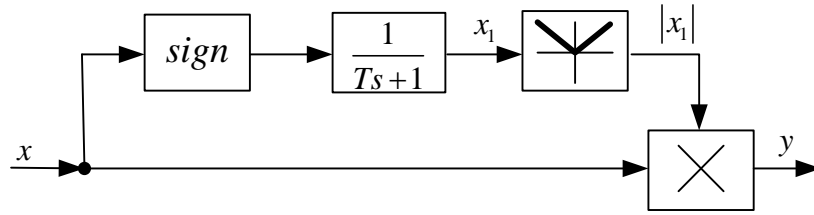


Рисунок 3.1.1 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением (ослаблением)

Используемое устройство включает в себя два канала управления и работает следующим образом. Входной сигнал, разветвляясь, проходит по двум каналам. Верхний амплитудный канал состоит из линейного элемента с передаточной функцией $W_A(s)$, блока сигнатуры $sign$ и блока выделения модуля сигнала; по нижней ветви входной сигнал следует без изменения. Сигнал на выходе фильтра получается как произведение выходных сигналов обеих ветвей

$$y = |x_1| x, \quad (19)$$

причем x_1 определяется уравнением

$$T\dot{x}_1 + x_1 = signx. \quad (20)$$

Передаточная функция $W_A(s)$ определяется по формуле

$$W_A(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (21)$$

где k – коэффициент передачи апериодического звена; T – постоянная времени.

Предполагая, что на входе фильтра действует синусоидальный сигнал $y=F(x)$, решение уравнения (22) получим в виде

$$x_1 = x_{10} e^{-\frac{t}{T}} \pm (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (22)$$

где

$$x_{10} = \mp \frac{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}{1 - e^{\frac{\pi}{\omega T}}}, \quad (23)$$

причем верхний знак в выражениях (22) и (23) берется при положительной полуволне входного сигнала x . Форма сигналов характерных точках показана на рис. 3.1.2.

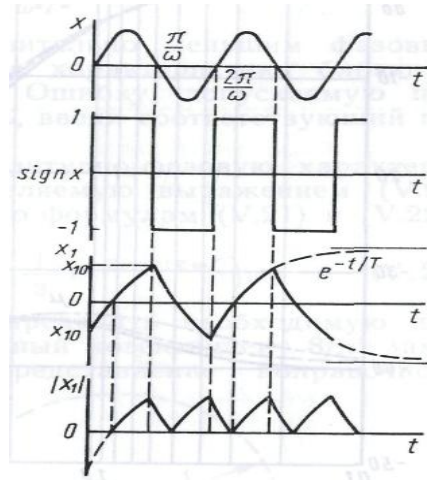


Рис.3.1.2 – Форма сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с амплитудным подавлением для случая синусоидального входного сигнала.

Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейного фильтра определяются по известным формулам, и для нашего случая имеет вид

$$a = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} [|x_1| A \sin \omega t] \sin \omega t d(\omega t), \quad (24)$$

$$b = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} [|x_1| A \sin \omega t] \cos \omega t d(\omega t), \quad (25)$$

Поскольку внутри интервала $(0, \pi)$ происходит изменение знака x_1 , входящего в подынтегральное выражение, интервал интегрирования разбиваются на два: $(0, \alpha)$ и (α, π) , где значение α , найденное из соотношения (23), имеет вид

$$\alpha = \omega T \ln \frac{2}{2 + e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}, \quad (26)$$

Вычисленные по формулам (24) и (25), с учетом сделанных замечаний, и (25) значения a и b запишутся в виде:

$$a = 1 - \frac{2\alpha}{\pi} + \frac{2 \sin \alpha}{\pi(1 + 4\omega^2 T^2)} (\cos \alpha - 2\omega T \cos \alpha); \quad (27)$$

$$b = -\frac{2 \sin \alpha}{\pi(1 + 4\omega^2 T^2)} (\sin \alpha - 2\omega T \cos \alpha). \quad (28)$$

линейный фильтр в амплитудной ветви имеет передаточную функцию вида

$$W_A(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (29)$$

амплитудная характеристика нелинейного звена:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (30)$$

Выражения (27) и (28) свидетельствует о том, что коэффициенты гармонической линеаризации a и b зависят только от частоты, поэтому амплитудная характеристика рассматриваемого нелинейного фильтра, определяемый формулой (30), также зависит только от частоты и не зависит от амплитуды входного сигнала, т. е. $q=f(\omega)$.

Если пренебречь влиянием высших гармоник меандра $\text{sign } x$ (см. рисунок 3.1.1), т.е. считать сигнал на выходе блока сигнатуры синусоидальным, то, получим упрощенные формулы для расчета a и b :

$$\alpha = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \cos 2\theta\right), \quad (31)$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \sin 2\theta\right), \quad (32)$$

где $\theta = -\arctg \omega \cdot T$

Ниже представлено семейство логарифмической амплитудно-частотной характеристики корректирующего устройства с амплитудным подавлением при различных значениях постоянной времени T в программном пакете MathCad (рисунок 3.1.3).

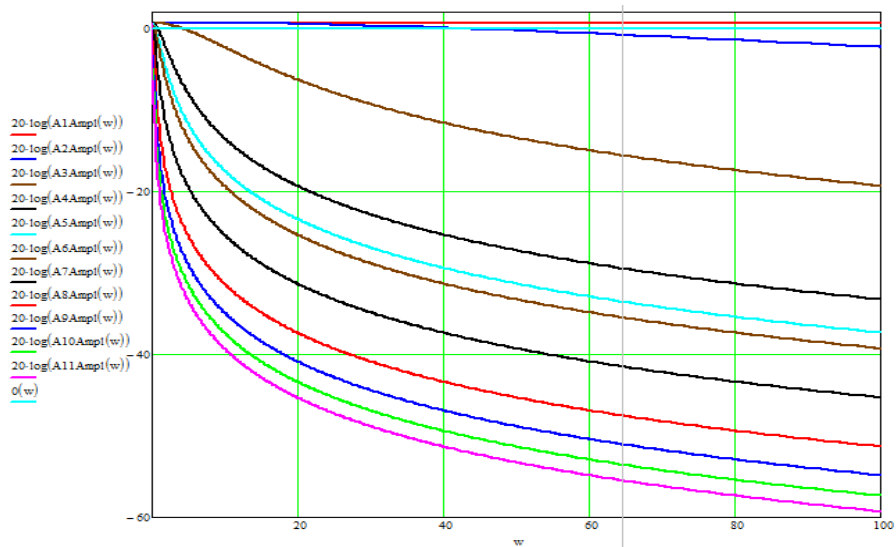


Рисунок 3.1.3 – Исследование логарифмических амплитудно-частотных характеристик корректирующего устройства с амплитудным подавлением

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика рассчитывалось по формулам (31), (32) и (30). При построение логарифмической амплитудно-частотной характеристики коэффициент усиления k всегда остается постоянной и равной $1c$, изменяется только T от 0 до $10c$.

На рисунке 3.1.3 представлено семейство логарифмических амплитудно-частотных характеристик :

- 1- Соответствует кривой при $T1=0c$;
- 2- Соответствует кривой при $T2=0,01c$;
- 3- Соответствует кривой при $T3=0,1c$;
- 4- Соответствует кривой при $T4=0,5c$;
- 5- Соответствует кривой при $T5=0,8c$;
- 6- Соответствует кривой при $T6=1c$;
- 7- Соответствует кривой при $T1=2c$;
- 8- Соответствует кривой при $T7=4c$;
- 9- Соответствует кривой при $T8=6c$;

10- Соответствует кривой при $T9=8с$;

11- Соответствует кривой при $T10=10с$.

Далее представлено семейство ЛФЧХ корректирующего устройства с фазовым опережением при различных значениях постоянной времени T в программном пакете MathCad (рисунок 3.1.4).

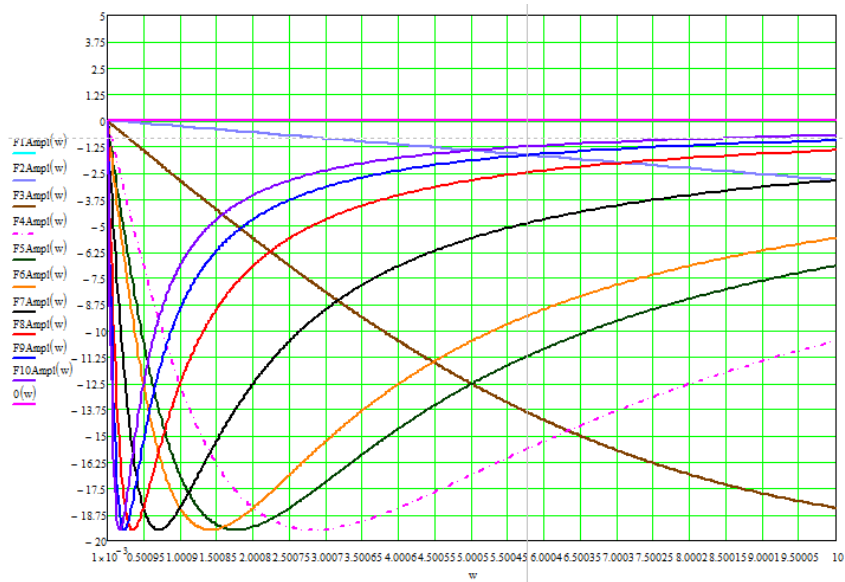


Рисунок 3.1.4 – Исследование логарифмических фазочастотных характеристик корректирующего устройства с амплитудным подавлением

ЛФЧХ рассчитывалось по формуле:

$$\mu(\omega, T) = a \tan\left(\frac{b(\omega, T)}{a(\omega, T)}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (34)$$

При построение ЛФЧХ также постоянная времени k всегда остается постоянной и равной $1 с.$, изменяется только T от 0 до $10с$.

На рисунке 3.1.4 представлено семейство характеристик ЛФЧХ:

- 1 - Соответствует кривой при $T1=0c$;
- 2 - Соответствует кривой при $T2=0,01c$;
- 3 - Соответствует кривой при $T3=0,1c$;
- 4 - Соответствует кривой при $T4=0,5c$;
- 5 - Соответствует кривой при $T5=0,8c$;
- 6 - Соответствует кривой при $T6=1c$;
- 7 - Соответствует кривой при $T1=2c$;
- 8 - Соответствует кривой при $T7=4c$;
- 9 - Соответствует кривой при $T8=6c$;
- 10 - Соответствует кривой при $T9=8c$;
- 11 - Соответствует кривой при $T10=10c$.

В данной работе будем рассматривать класс объектов, описываемых передаточными функциями вида:

$$W(s) = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1} \quad (35)$$

Данной функцией описывается большое количество всевозможных технологических объектов: технологические резервуары, подключенные через сопротивление к магистральному трубопроводу под давлением, различные технологические параметры для доменной печи. Примерами двуместных объектов ($T_1 \neq 0$) могут служить две ступени пароперегревателей барабанного парового котла, а также многие другие объекты .

Таким образом, выбранная передаточная функция описывает поведение достаточно большого класса технологических объектов управления.

Для анализа адаптивных свойств псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением рассмотрим работу систем автоматического управления, представленную на рисунке 3.1.5.

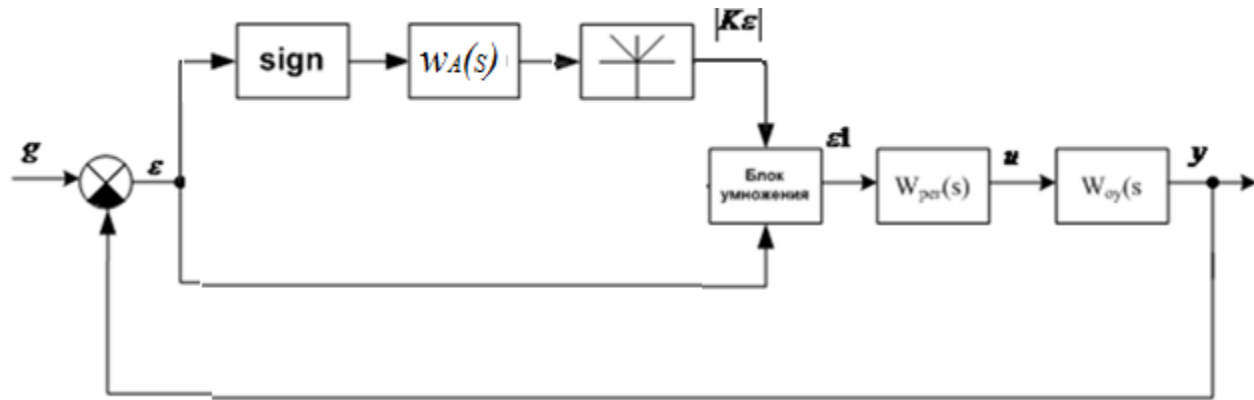


Рисунок 3.1.5 - Схема систем автоматического управления с пид-регулятором и псевдолинейным корректирующим устройством с амплитудным подавлением

Передаточная функция объекта управления будет задана следующими параметрами $T_1=3c$, $T_2=0,5c$ и $k=1$. Параметры регулятора представлены ниже. Коэффициент усиления примем $k=1$. Передаточная функция линейного элемента звена, входящего в КУ имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (36)$$

Параметры пид-регулятора берем из стандартного блока signal constraint среды Matlab Simulink.

Далее приведена модель систем автоматического регулирования корректирующего устройства с амплитудным подавлением в среде MatLab. На рисунке 3.1.6 отображена модель систем автоматического регулирования с применением корректирующего устройства и без корректирующего устройства.

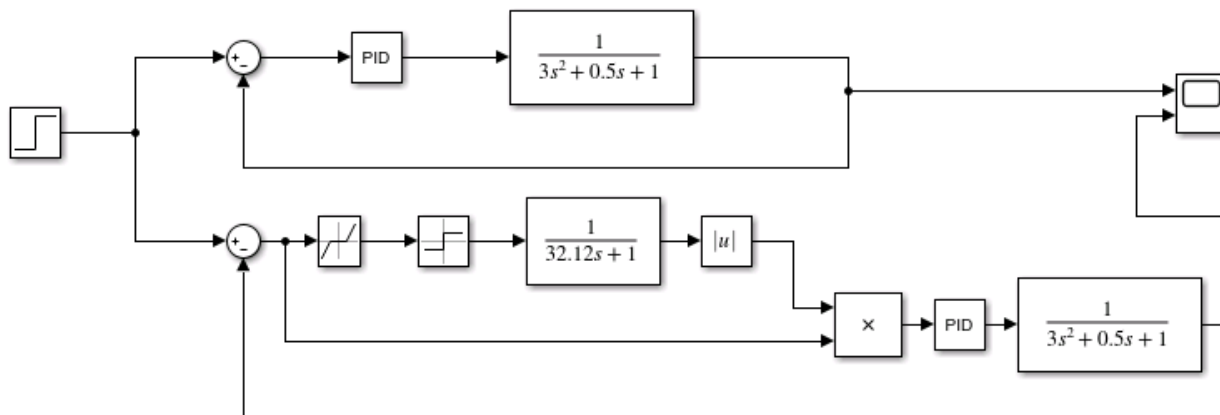
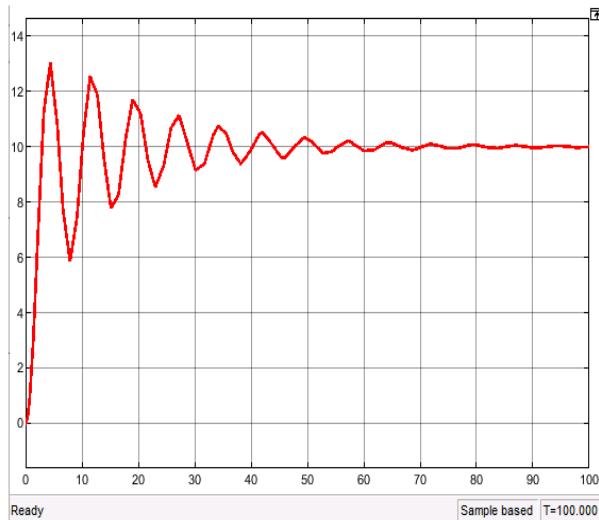


Рисунок 3.1.6 –Модели систем автоматического регулирования в пакете MatLab: верхняя система без корректирующего устройства; нижняя система с корректирующим устройством;

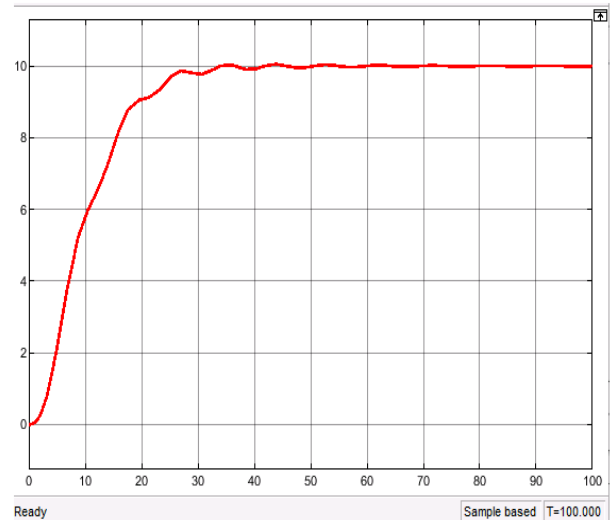
Передаточная функция объекта управления второго порядка имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{1}{3s^2 + 0.5s + 1}.$$

ПИД - регулятор имеет следующие настройки: $K_n = 1$, $K_u = 0.5$, $K_d = 0.6$. По данным параметрам далее строятся переходные процессы (Рисунок 3.1.7). На данном рисунке изображен переходный процесс с корректирующим устройством и изображен переходный процесс без корректирующего устройства.



а)



б)

Рисунок 3.1.7 – Характеристики переходных процессов 2го порядка; а) без корректирующего устройства; б) с корректирующим устройством;

Из приведенного выше рисунка видно, что качество переходного процесса с корректирующим устройством значительно лучше.

Далее рассмотрим такую же схему что и на рисунке 3.1.6, но в этот раз объект управления будет уже третьего порядка (рисунок 3.1.8).

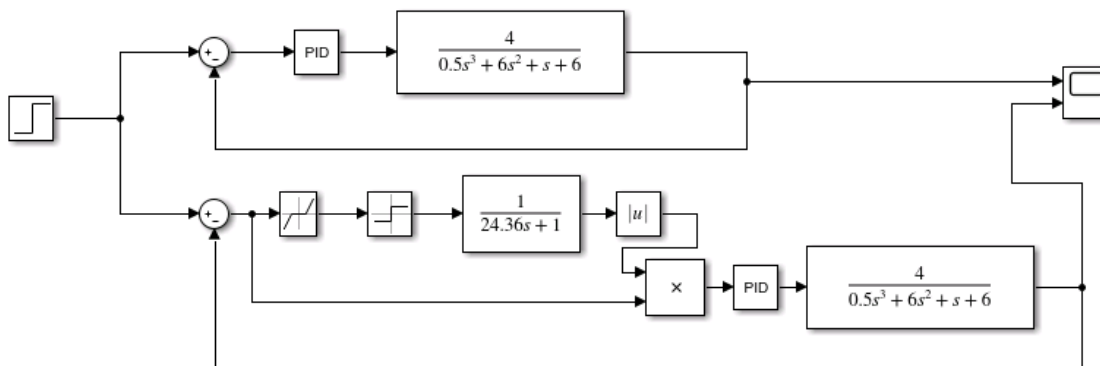
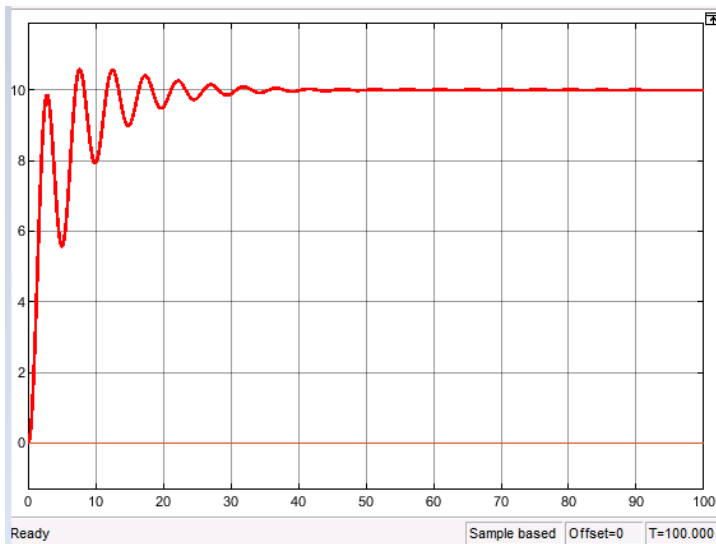


Рисунок 3.1.8 – Модели систем автоматического регулирования в пакете MatLab; верхняя система без корректирующего устройства; нижняя система с корректирующим устройством

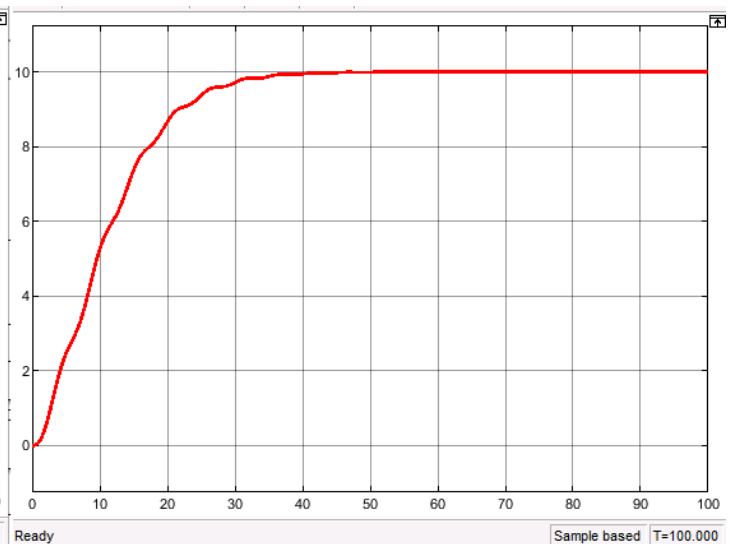
Передаточная функция объекта управления третьего порядка имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{4}{0,5s^3 + 6s^2 + s + 6}.$$

ПИД - регулятор имеет следующие настройки: $K_n = 1$, $K_u = 0,5$, $K_d = 0,6$. По данным параметрам далее строится переходный процесс с корректирующим устройством (рисунок 3.1. 9,б) и без корректирующего устройства (рисунок 3.1. 9,а).



а)



б)

Рисунок 3.1.9 –Характеристики переходных процессов 3го порядка; а) без корректирующего устройства; б) с корректирующим устройством;

3.2 Система управления с адаптивным амплитудным корректирующим устройствам

По способу адаптации систем автоматического управления делятся:

- поисковые адаптивные системы;
- беспоисковые адаптивные системы.

В поисковой адаптивной системе для изучения объекта подаются специальные (поисковые сигналы), которые добавляются к задающему воздействию. Анализируя реакцию системы на поисковый сигнал, определяют каким образом менять параметры корректирующих устройств. Среди поисковых адаптивных систем автоматического управления широко распространены экстремальные системы. Статические характеристики объекта управления таких систем обладают явно выраженным экстремумом. Положение экстремума меняться, если меняются параметры объекта управления. Цель адаптации в поисковых системах автоматического управления состоит в поддержании экстремума.

В беспоисковых системах никакого сигнала для изучения поведения объекта управления не подаётся. В таких системах значения управляющих воздействий выбираются на основе определения условий, обеспечивающих заданное качество процесса управления. По способу получения информации об объекте управления беспоисковые системы делятся на адаптивные системы с эталонной моделью и адаптивные системы с идентификатором.

В данной работе адаптация системы проводилась с использованием поисковых сигналов. В качестве поискового сигнала в данной работе используется последовательность прямоугольных импульсов известной частоты ($\nu = 1/T$, где T - период следования импульсов) и амплитуды (h) (рисунок 3.2.1):

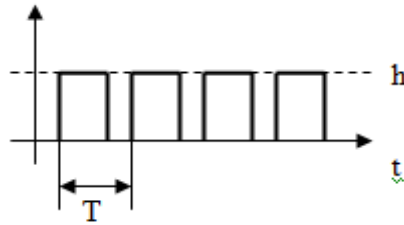


Рисунок 3.2.1 – Прямоугольные импульсы поискового сигнала

Структура адаптивной системы с поисковым сигналом представлена на рисунке 3.2.2

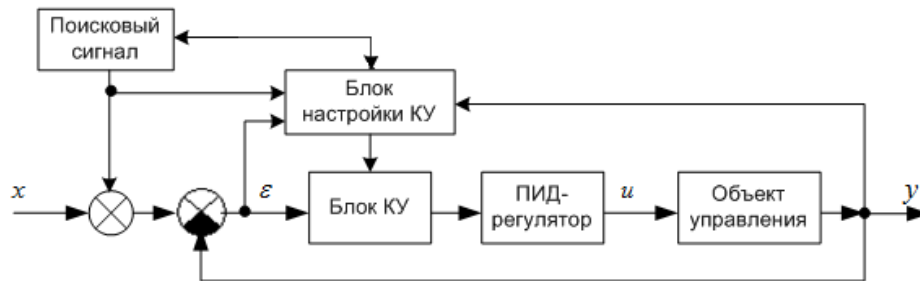
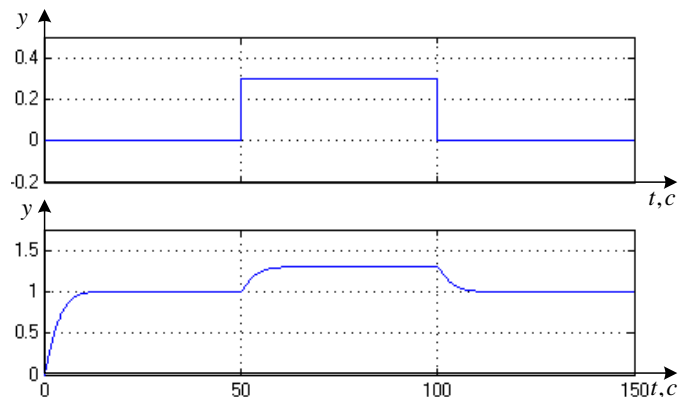


Рисунок 3.2.2 – Структура адаптивной системы с поисковым сигналом

Пусть на входе адаптивной систем автоматического управления к задающему единичному ступенчатому воздействию x добавляется поисковый сигнал. Если в момент подачи поискового сигнала система была устойчива и имела монотонный характер переходного процесса, то реакция системы на пробный сигнал будет следующей (рисунок 3.2.3, а):



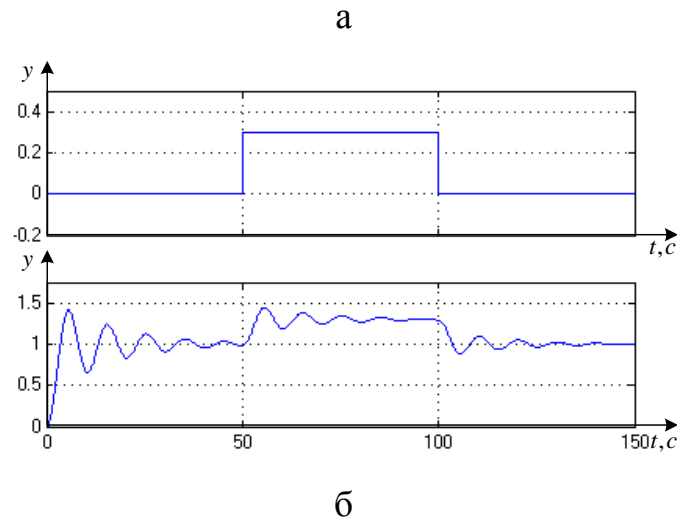


Рисунок 3.2.3 – Реакция системы на пробный импульс

Если реакция на пробный сигнал будет иметь вид (рисунок 3.2.3, б), то появление такой реакции является сигналом к тому, что свойства объекта управления ухудшились и необходимо начать корректировку параметров корректирующего устройства, чтобы улучшить качество управления объектом.

В данной работе состояние объекта управления определяется по значению интегрального квадратичного критерия, которое приведено в выражении:

$$\sigma = \frac{|h_{уст} - h_{max1}|}{h_{уст}} \cdot 100\% . \quad (37)$$

За время действия пробного импульса определяется значение интегрального квадратичного критерия. Если это значение превышает значение критерия для объекта управления с требуемыми показателями качества, то подключается блок адаптации параметров корректирующего устройства, который будет изменять параметры этого устройства.

После того, как в системе установился переходный процесс, подаётся пробный импульс, по фронту которого определяется эталонное значение критерия $I_{эТ}$. Далее в системе по мере поступления пробных импульсов будут

определяться текущие значения критерия $I_{тек}$ и сравниваться с эталонным значением критерия. Значение параметра корректирующего устройства определяется по линейной зависимости параметра корректирующего устройства от отклонения значения интегрального квадратичного критерия:

$$\Delta I = I_{тек} - I_{ЭТ} . \quad (38)$$

3.3 Реализация амплитудного корректирующего устройства для систем автоматического управления нестационарным объектом

Реализация метода настройки корректирующего устройства по значению интегральной квадратичной критической ошибки проводилась в «MATLAB» «Simulink». Полученная структурная схема представлена на рисунке 3.3.1., код для скриптов для S -функций из подсистем представлен в приложении Б-В.

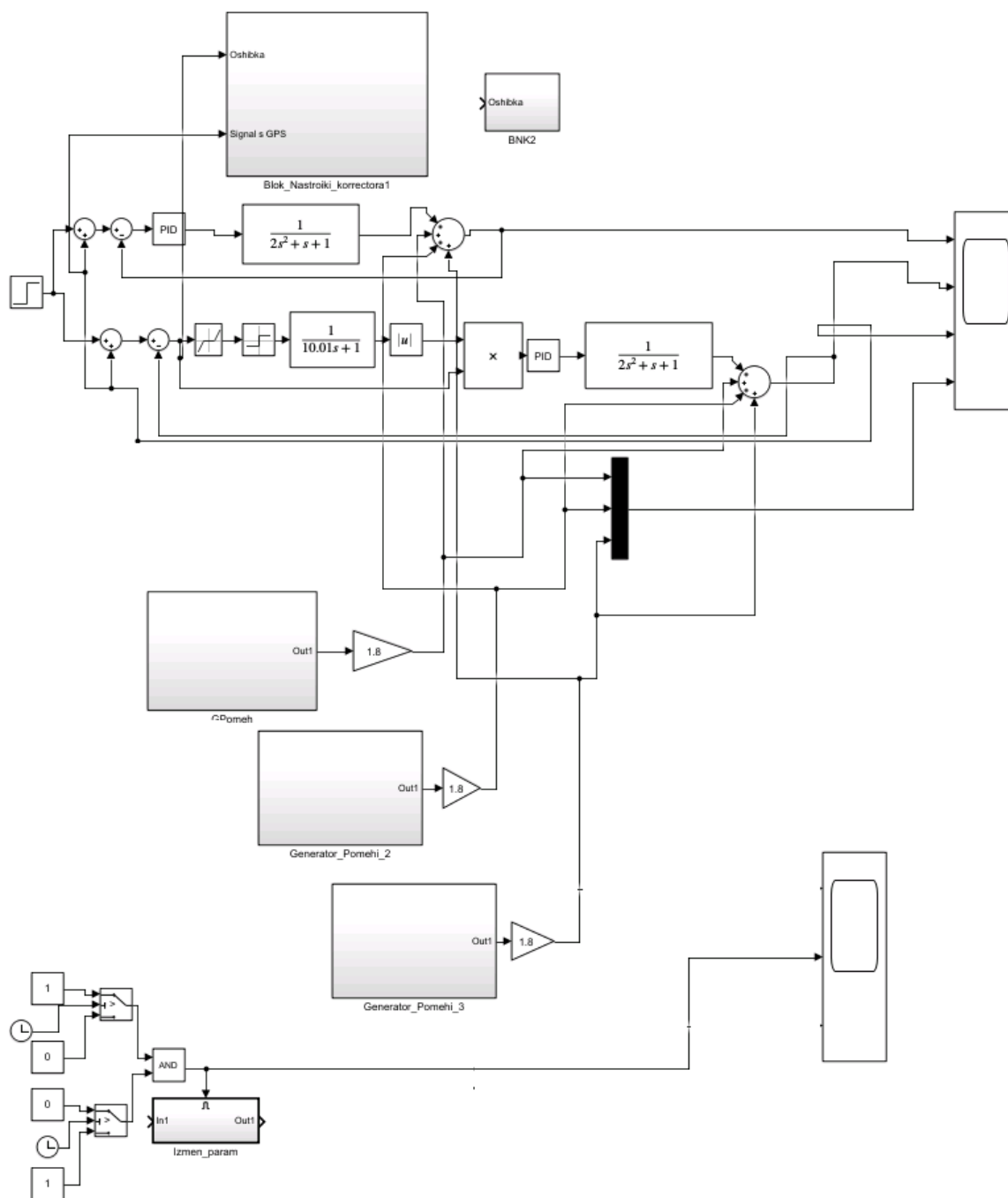


Рисунок 3.3.1. – Реализация корректирующего устройства по значению интегральной квадратичной критической ошибки в «Simulink»

В начале работы программы значение постоянного времени, передаточной функции обоих систем объекта управления (рисунок 3.1.7), является $T=1$.

Амплитудное корректирующее устройство для нестационарных объектов работает по следующему алгоритму (по рисунку 3.3.2):

1. На вход объекта управления поступает сгенерированный импульсный сигнал.

2. В момент времени $t=1c$ система устанавливает начальные значения для K и коэффициентов пид-регулятора.

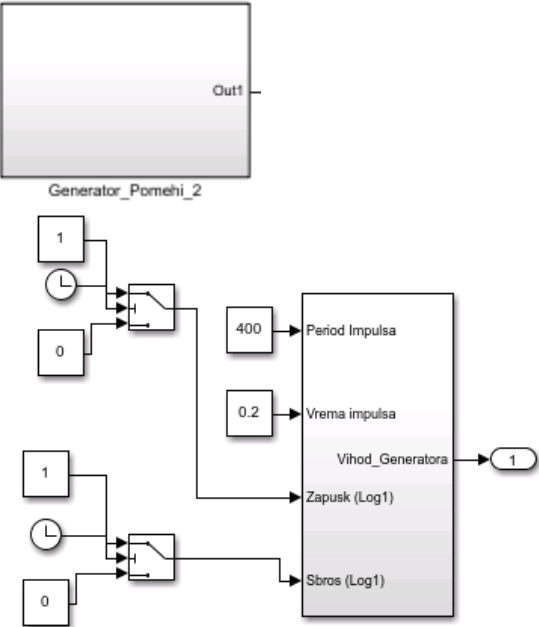
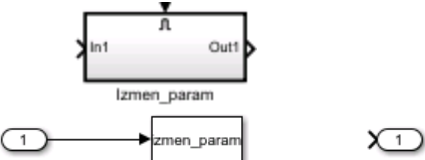
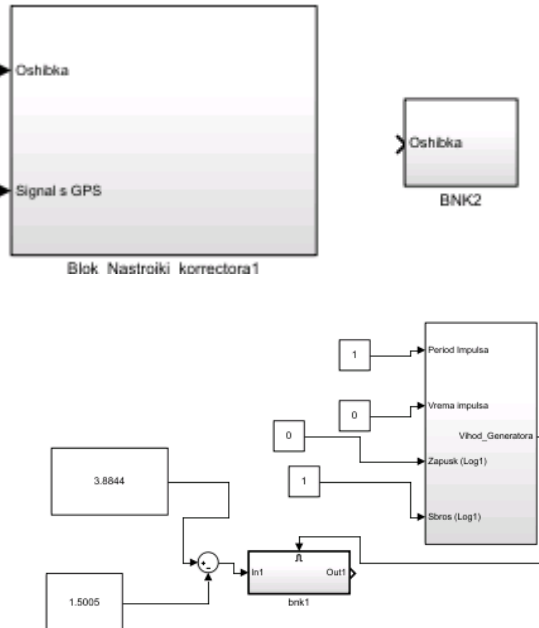
3. В момент времени $t=100c$, в систему поступает сгенерированный импульсный сигнал с первого генератора на $t=120c$, и снимается показание ошибки объекта управления системы, которая является эталонным значением.

4. В момент времени $t=500c$ система становится нестационарным за счет изменение параметра объекта управления при $T=2$. [Приложение В] При $t=850c$ в систему поступает второй сгенерированный импульсный сигнал, который образует второй генератор.

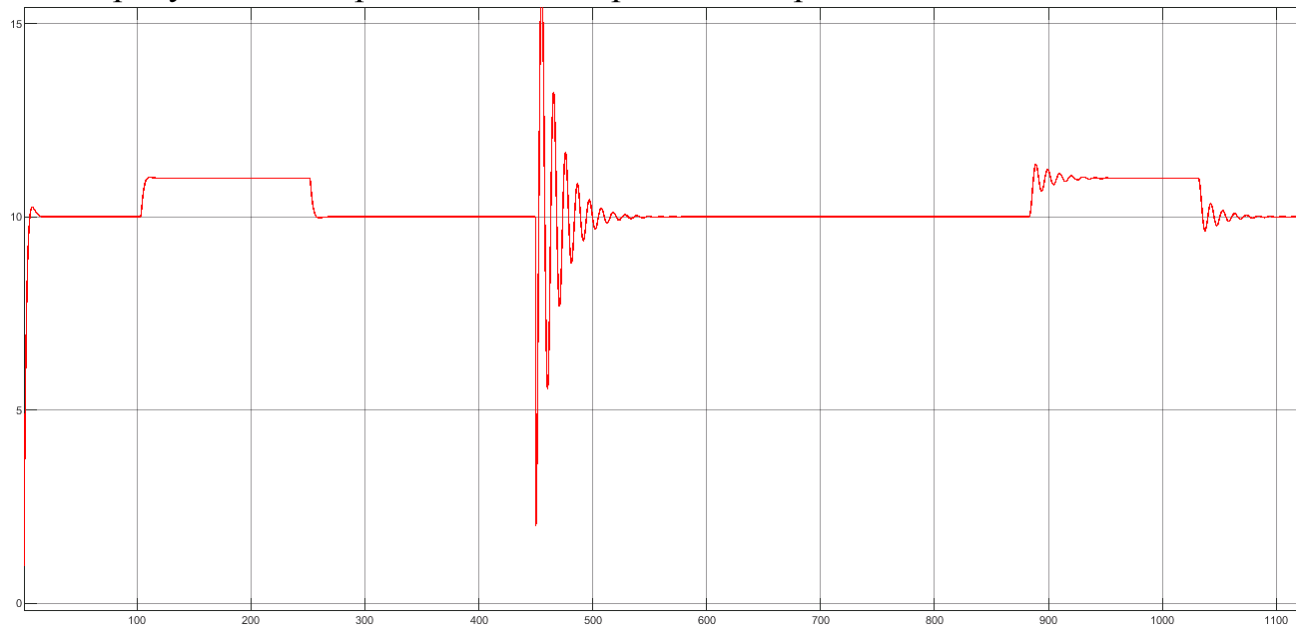
5. Система снимает показание интегральной квадратичной ошибки, называемая текущим, и сравнивает это значение с эталонным значением и в случае принятия решения передает новое значение постоянной времени для амплитудного корректора (заданные условием программно) [Приложение Б].

6. При подачи третьей сгенерированного импульсного сигнала в момент $t=1150c$, показание интегральной квадратичной ошибки объекта управления системы сводится к минимуму. Процесс становится ближе к апериодическому.

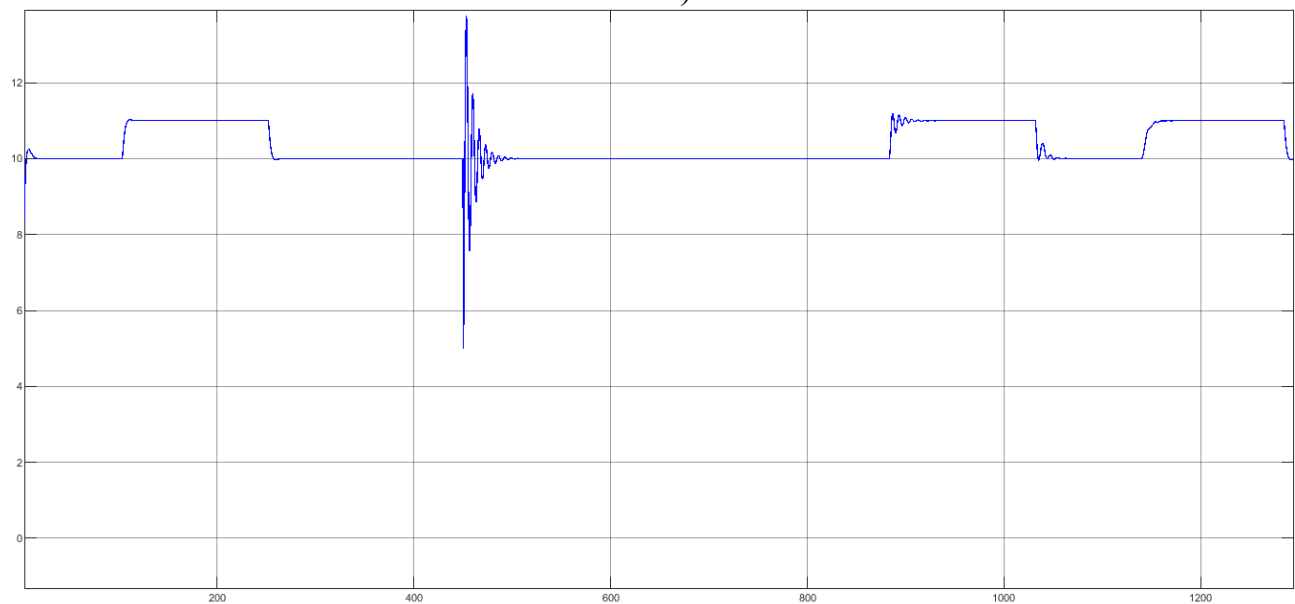
Таблица 1. Подсистемы

Подсистема 1	Подсистема 2
 <p>The diagram for Подсистема 1 shows a control system. At the top is a block labeled 'Generator_Pomehi_2' with an output 'Out1'. Below it, there are two switch blocks. The first switch has inputs 1 and 0, and its output goes to a 'Period Impulsa' block. The second switch also has inputs 1 and 0, and its output goes to a 'Vremya impulsa' block. Both 'Period Impulsa' and 'Vremya impulsa' blocks have inputs 400 and 0.2 respectively, and their outputs go to a 'Vihod_Generatora' block. The 'Vihod_Generatora' block has two outputs: 'Zapusk (Log1)' and 'Sbros (Log1)'. The 'Zapusk (Log1)' output goes to a block labeled '1'. The 'Sbros (Log1)' output goes to a block labeled '0'.</p>	 <p>The diagram for Подсистема 2 shows a block diagram. It features a block labeled 'Izmen_param' with inputs 'In1' and 'Out1'. Below it, there is a block labeled 'zmen_param' with an input '1' and an output '1'.</p>
Генератор импульсный	S-function для изменение параметра ОУ
 <p>The diagram for the импульсный генератор shows a block diagram. It features a block labeled 'Blok Nastroiiki korektora1' with inputs 'Oshibka' and 'Signal s GPS'. Below it, there is a block labeled 'BNK2' with an input 'Oshibka'. The 'Blok Nastroiiki korektora1' block has two outputs: '3.8844' and '1.5005'. The '3.8844' output goes to a block labeled '1'. The '1.5005' output goes to a block labeled '0'. Both '1' and '0' blocks have outputs that go to a 'Vihod_Generatora' block. The 'Vihod_Generatora' block has two outputs: 'Zapusk (Log1)' and 'Sbros (Log1)'. The 'Zapusk (Log1)' output goes to a block labeled '1'. The 'Sbros (Log1)' output goes to a block labeled '0'.</p>	
Посистема устанавливающая из интегральных ошибок значения для параметра для корректора	

На рисунке 3.3.2 представлены переходные процессы.



а)



б)

Рисунок 3.3.2. – Процесс работы системы без корректора (а) и процесс работы системы с амплитудным корректором (б)

Анализ кривых переходных процессов показывает, что в системе управления с корректирующим устройством показатели качества переходного процесса лучше, чем в системе управления без корректирующего устройства.

4 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА КОНТРОЛЛЕРЕ SIMATIC STEP7-300

4.1 Состав и технические параметры контроллера S7-300

Контроллер Simatic S7–300 – это мощный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации средней и высокой степени сложности.

Модульная конструкция, работа с естественным охлаждением, гибкие возможности расширения, мощные коммуникационные возможности, простота создания распределенных систем управления и удобство обслуживания позволят Simatic S7-300 решать практически любые задачи автоматизации.

Основными областями применения SIMATIC S7-300 являются:

- машиностроение;
- складское хозяйство;
- технологические установки;
- системы измерения и сбора данных;
- упаковочные машины и линии;
- производство контроллеров;
- автоматизация машин специального назначения;
- автоматизация непрерывных производств.

Эффективному применению контроллеров способствует возможность использования нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкого спектра модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров.

Основные компоненты Simatic S-300:

- модули блоков питания (PS): используются для подключения Simatic S7-300 к источникам питания 120/230В переменного тока, 24/48/60/120/230В постоянного тока.

- модули центральных процессоров (CPU): в составе контроллера могут быть центральные процессоры различной производительности. Некоторые имеют встроенный интерфейс. В стойке центрального контроллера можно разместить несколько модулей CPU.

- модули ввода/вывода (сигнальные модули SM): для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов.

- коммуникационные процессоры (CP): для организации различных вариантов связи.

- интерфейсные модули (IM): для построения систем локального и распределенного ввода-вывода.

- функциональные модули (FM): для решения типовых задач управления.

Модули контроллера монтируются на шасси. Внешний вид контроллера определенной конфигурации показан на рисунке 4.1.1.



Рисунок 4.1.1 – Внешний вид стойки контроллера S7–300

1. Блок питания.
2. Буферная батарея.
3. Ключ переключения режимов программируемого логического контроллера.
4. Светодиоды индикации состояний и отказов.
5. Субмодуль памяти.
6. Фронтальные соединители с маркировкой внешних цепей.
7. Центральный процессор
8. Специализированный модуль FM.
9. Модуль расширения.
10. Модули ввода/вывода.
11. Интерфейсный модуль.

4.2 Программа адаптивной САР с псевдолинейным корректирующим устройством с амплитудным подавлением

STEP 7 – это базовый пакет программ, включающий в свой состав весь спектр инструментальных средств, необходимых для программирования и эксплуатации систем автоматизации, построенных на основе программируемых логических контроллеров SIMATIC. Он является частью промышленного программного обеспечения SIMATIC.

Отличительной особенностью пакета STEP 7 является возможность разработки комплексных проектов автоматизации, базирующихся на использовании множества программируемых контроллеров, промышленных компьютеров, устройств и систем человеко-машинного интерфейса, устройств распределенного ввода-вывода, сетевых структур промышленной связи. Ограничения на разработку таких проектов накладываются только

функциональными возможностями программаторов или компьютеров, на которых установлен STEP 7.

Инструментальные средства STEP 7, необходимые для выполнения всех этапов разработки проекта, а также последующей эксплуатации системы управления:

- SIMATIC Manager – ключевая программа STEP 7, позволяющая выполнять управление всеми составными частями проекта, осуществлять быстрый поиск необходимых компонентов, производить запуск необходимых инструментальных средств.

- Symbol Editor – программа определения имен переменных, типов данных, ввода комментариев к переменным.

- Hardware Configuration – программа конфигурирования используемой в проекте аппаратуры.

- Communication – программа конфигурирования систем промышленной связи, использующих для обмена данными MPI интерфейс, сети PROFIBUS, PROFINET или Industrial Ethernet. Сеансы связи могут осуществляться циклически или запускаться по временным или аппаратным прерываниям.

- Информационные функции – для быстрого доступа к данным центрального процессора и управления режимами выполнения программы пользователя в ходе ее отладки.

Для разработки программ пользователя STEP 7 позволяет использовать следующие способы их представления:

- Список инструкций (Statement List – STL). Программы, написанные на STL, занимают минимальный объем в памяти программ контроллеров и обладают наиболее высоким быстродействием.

- Диаграммы лестничной логики (Ladder Diagram – LAD). В отечественной литературе этот язык известен как язык релейно-контактных схем – РКС.

- Язык функциональных блоков (Function Block Control Diagram – FBD).

Язык, позволяющий выполнять разработку программы по аналогии с разработкой функциональной схемы устройства управления, создаваемого на основе интегральных логических элементов, счетчиков, таймеров и т.д.

В данной работе реализована адаптивная система управления для объекта управления второго порядка с псевдолинейным регулятором в программном пакете STEP 7, и проверена её работа под управлением контроллера SIMATIC S7-300. Для разработки программы использовался язык FBD.

Непосредственно перед запуском программы задается значение параметра объекта управления T_1 . В соответствии с заданным значением параметра объекта управления T_1 адаптивная система назначает значение параметра амплитудного корректирующего устройства: T .

Для запуска программы на вход $I\ 125.0$ контроллера (соответствующий тумблер на лабораторном стенде) подается сигнал логической 1 . Программа обрабатывается циклически до тех пор, пока не будет достигнуто установившееся выходное значение. В процессе работы программы можно изменять значение параметра объекта управления T_1 , тогда снова будет включаться адаптация и при необходимости будет автоматически произведена подстройка параметров псевдолинейного корректирующего устройства.

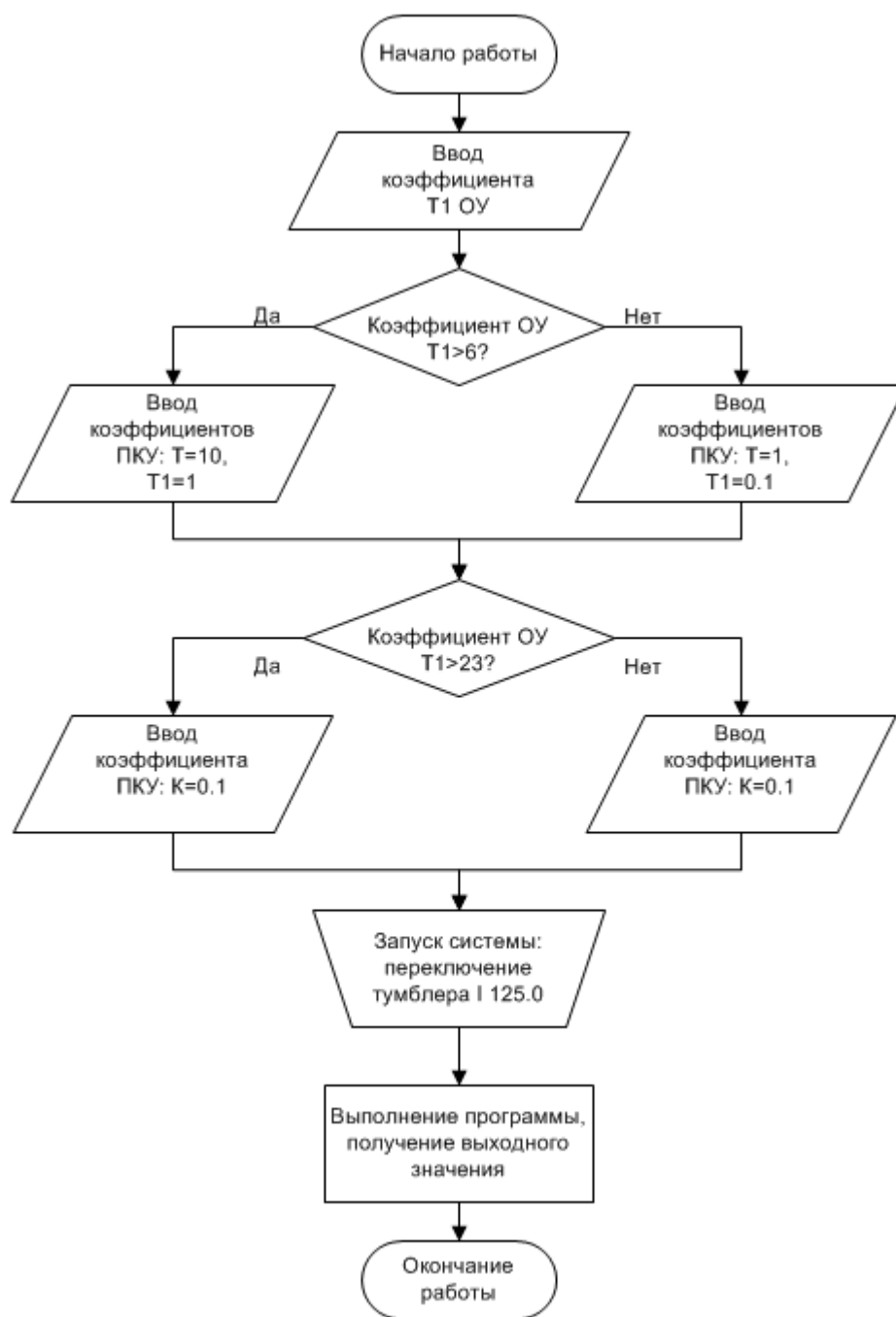


Рисунок 4.2.1 – Блок-схема работы программы

В программе реализована подача поискового сигнала по тумблеру I 125.1, либо автоматически при достижении установившегося выходного значения.

Первый сегмент программы представлен на рисунке 4.2.2 Сегмент реализует подачу входного и поискового сигналов в систему, а также конвертацию их типа из *INT* в *REAL*.

Для реализации представленной систем автоматического управления передаточные функции элементов были преобразованы в последовательность элементарных математических операций, легко реализуемых на языке STEP 7. Листинг программы на языке *FBD* приведен в приложении Г.

В системе управления адаптация параметров осуществляется на основе измерения отклонения интегрального квадратичного критерия за время пробного импульса от эталонного значения критерия. Пробный импульс поискового сигнала подается от блока диагностических сигналов к входному сигналу системы без корректирующего устройства. Текст программы, реализующий подачу пробного импульса в систему, представлен ниже:

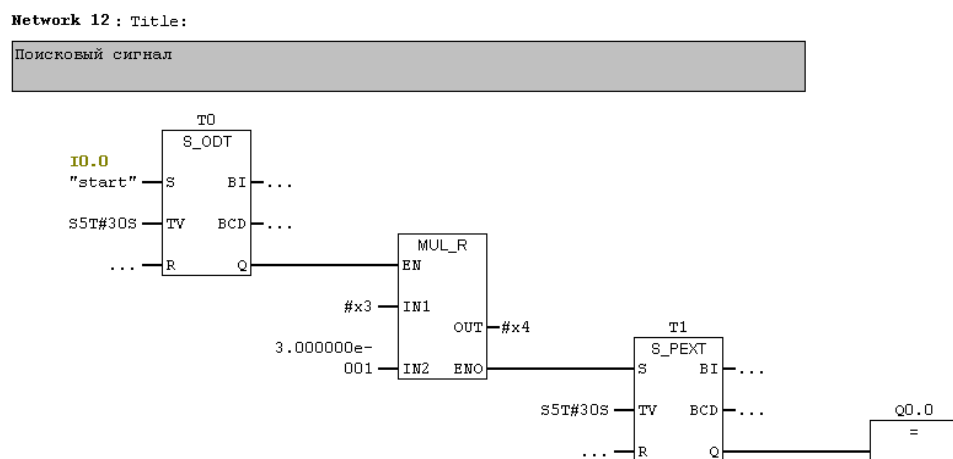


Рисунок 4.2.2 – Текст программы, реализующий подачу пробного импульса в систему

Сигнал подается по истечении 30 секунд от начала работы и держится в течение 30 секунд. Запаздывание сигнала и его продолжительность организованы с помощью таймера включения с задержкой сигнала и таймера с продленным импульсом.

За время пробного импульса определяется интегральная квадратичная ошибка и затем сравнивается с интегральной квадратичной ошибкой, определенной в системе управления с параметрами объекта управления, удовлетворяющими требуемым показателям качества.

Далее отклонение значение интегрального квадратичного критической ошибки подается на линейную зависимость параметра корректирующего устройства от отклонения значения интегрального квадратичного критической ошибки, и определяется значение параметра корректирующего устройства. Текст программы работы ПИ-регулятора приведен в приложении Г, текст программы определения интегральной квадратичной ошибки и реализации линейной зависимости параметра корректирующего устройства от отклонения значения интегрального квадратичного критерия приведены в приложении Д.

Псевдолинейное амплитудное корректирующее устройство, структура которого представлена на рисунке 3.1.1, реализовано в отдельном функциональном блоке. Текст программы, описывающий работу корректирующего устройства приведен ниже.

Передаточная функция амплитудного канала $W_A(s) = \frac{k}{Ts+1}$, представленная в виде последовательности элементарных математических операций

$$W_A(s) = k \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{s}}$$

Network 7 : Title:

ПФ амплитудного канала

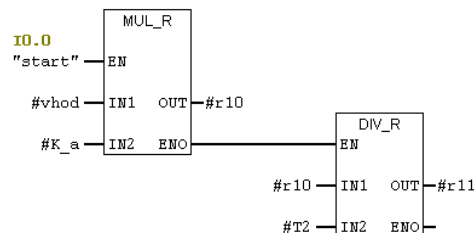


Рисунок 4.2.3 – Сегмент 7 программы реализации псевдолинейного корректирующего устройства, описывающий передаточную функцию амплитудного канала

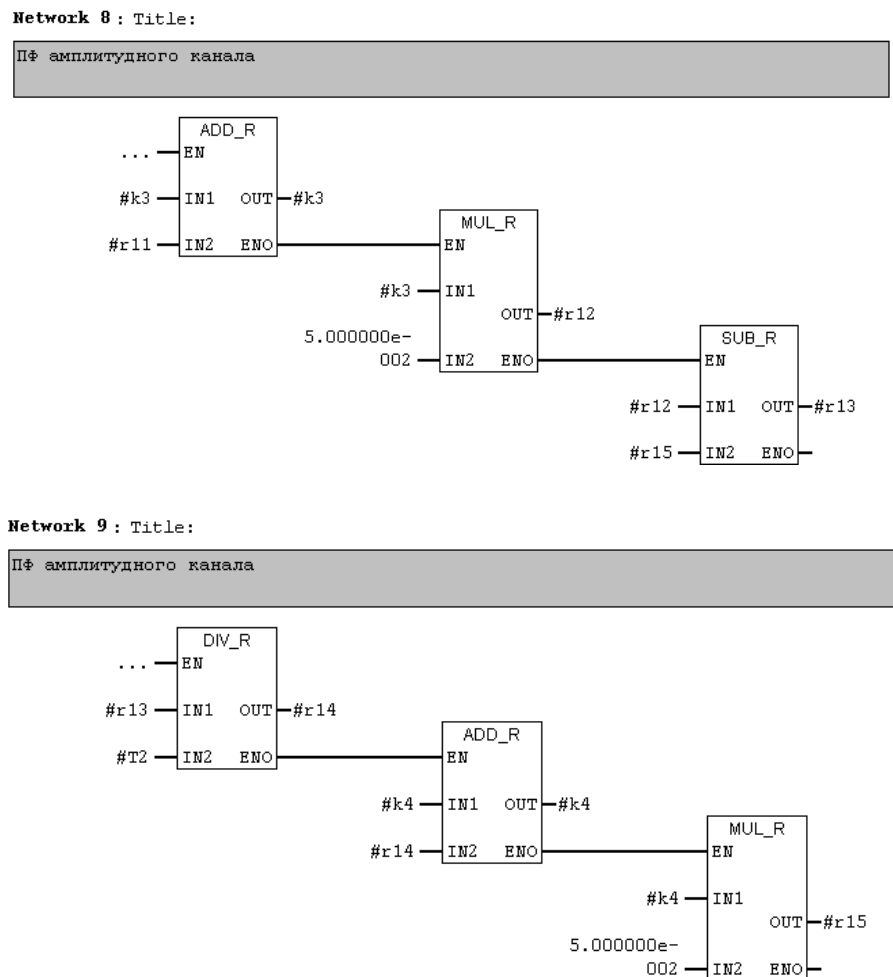


Рисунок 4.2.4 – Сегменты 8 и 9 программы реализации псевдолинейного корректирующего устройства, описывающие передаточную функцию амплитудного канала

Функция модуля в амплитудном канале:

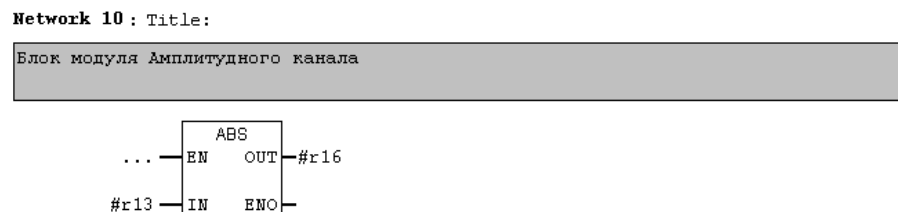


Рисунок 4.2.5– Сегмент 10 программы реализации псевдолинейного двухканального корректирующего устройства, описывающий блок модуля

Функция умножения выходных сигналов:

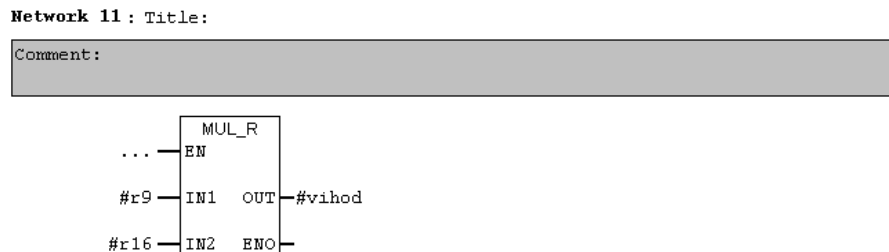


Рисунок 4.2.6– Сегмент 11 программы реализации псевдолинейного корректирующего устройства, описывающий умножение выходов

Реализация ПИ-регулятора представлена на рисунках 4.2.7- 4.2.9

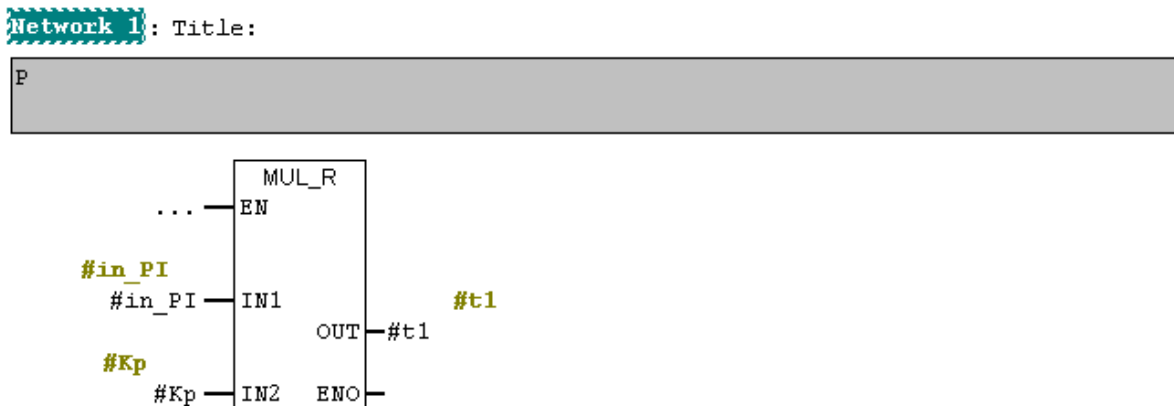


Рисунок 4.2.7 – Сегмент Программы реализации ПИ-регулятора, описывающий пропорциональную составляющую

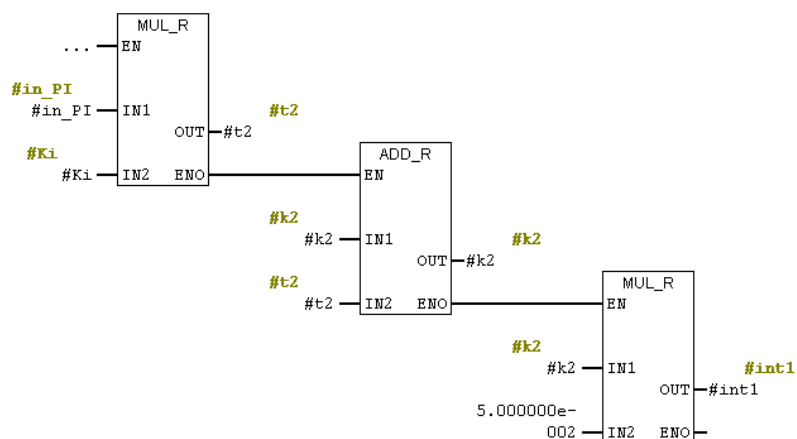


Рисунок 4.2.8– Сегмент программы реализации ПИ-регулятора , описывающей интегральную составляющую

Network 3 : Title:

sum

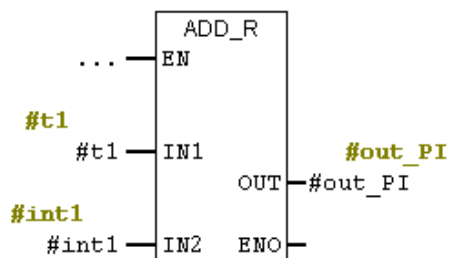


Рисунок 4.2.9 – Сегмент программы реализации ПИ-регулятора

Далее реализуется параллельное подключение ПИ-регулятора и ПКУ

Network 3 : Title:

sum

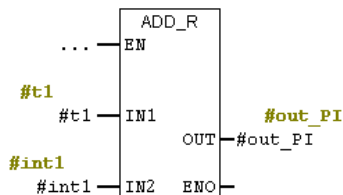


Рисунок 4.2.10 – Сегмент программы реализации параллельного подключения ПИ-регулятора и ПКУ

5. ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗУЧЕНИЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА»

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы было разработано программно-методическое обеспечение для выполнения лабораторной работы «Изучение псевдолинейного регулятора», которое позволяет изучить структуру и принципы работы псевдолинейного регулятора и осуществить программирование системы управления второго порядка с данным корректирующим устройством на языке программирования FBD в пакете STEP7.

Программно-методическое обеспечение состоит из программы на языке FBD, реализующий псевдолинейный регулятор и объекта управления и методических указаний по выполнению лабораторной работы.

В методических указаниях приводятся: цель работы, описание пользовательского интерфейса, обзор используемых в данной лабораторной работе блоков, задание на лабораторную работу, методические указания по составлению программы псевдолинейного регулятора и содержание отчёта.

Полный текст методических указаний представлен в приложении Е данной выпускной квалификационной работы

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Объектом исследования является моделирование псевдолинейного корректора системы автоматического управления нестационарным объектом. При анализе динамических свойств псевдолинейного корректора, для систем автоматического управления нестационарным объектом, работа выполняется на компьютере, состоящего из системного блока и монитора, работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении.

Работа проводится в 113А аудитории 10 корпуса НИ ТПУ. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером. В связи с этим в данном разделе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при моделировании.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Все виды работ, проводимые в лабораторном комплексе (вычислительном центре), относятся к классу 2 – допустимые условия труда, при которых уровень вредных факторов трудового процесса не превышает показателей, установленных гигиеническими нормативами для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены. В связи с этим дополнительных льгот и компенсаций работникам этой области не предусмотрено.

Органы, контролирующие соблюдение законодательства и нормативных правовых актов в исследуемой в работе области: Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда, Федеральная служба по труду и занятости населения, Минтруда России Федеральная служба по экологическому,

технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России), Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России).

Организация и координация работ по охране труда возложена на службы (специалиста) охраны труда. Кроме того, эта служба в соответствии с Рекомендациями по организации работы службы охраны труда в организации проводит анализ состояния и причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний, совместно с соответствующими службами предприятия разрабатывает мероприятия по предупреждению несчастных случаев и профессиональных заболеваний, а также организует их внедрение; организует работу на предприятии по проведению проверок технического состояния зданий, сооружений, оборудования цехов на соответствие их требованиям безопасности, аттестации рабочих мест в части условий труда; проводит вводный инструктаж и оказывает помощь по вопросам охраны труда в соответствии с ТК РФ, №197-ФЗ (ред. от 16.12.2019г., ст.219) “Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда”.

Экологический контроль является одним из наиболее важных звеньев организационно-правового механизма охраны окружающей среды. Экологический контроль – система мероприятий, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды. Общественный экологический контроль проводится профсоюзными и общественными организациями и объединениями [14].

6.1.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности рабочей зоны

При выполнении выпускной квалификационной работы основная нагрузка приходится на центральную нервную систему, так как происходит умственная

работа. При проектировании необходимо организовать комфортные условия для полноценной работы.

Рабочее место согласно с ГОСТ 12.2.032-78 – «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении сидя. Общие эргономические требования», должно отвечать требованиям техники безопасности. Рабочее место - это часть пространства, в котором инженер осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении. ГОСТ 22269-76 – «Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места». ГОСТ 21889 -76 – Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Общие эргономические требования (с Изменением N1).

Согласно ГОСТ 12.2.032-78, конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;
- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;
- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;

– уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

Главными элементами рабочего места являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз. Также необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

Рабочий стул должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах (400 - 500) мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах (90 – 110)°.

Согласно информации на сайте «Интерактивная карта НИ ТПУ» [15], общая площадь аудитории 113А составляет 39,8 м² на 12 рабочих мест. Средняя площадь на одно рабочее место составляет:

$$S_{APM} = \frac{S_{ayd}}{N_{APM}} = \frac{39,8}{12} = 3,3 \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

где S_{apm} – средняя площадь на одно автоматизированное рабочее место,

S_{ayd} – общая площадь аудитории, N_{APM} – количество рабочих мест, предусмотренных на аудиторию. Средняя площадь пространства на одного учащегося в аудитории занижена на 27% от необходимой нормы.

При разработке корректирующего устройства никаких специальных требований трудового законодательства не предусмотрено.

6.2. Производственная безопасность

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. Используя ГОСТ 12.0.003-74 [16], можно выделить ряд факторов, приведенных в таблице 6.1. Так же приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства

Источник фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	<ul style="list-style-type: none"> – нарушение параметров микроклимата; – повышение шума; – недостаточное освещение; – электромагнитные излучения. 	опасность поражения электрическим током	1. СанПиН 2.2.4.548–96 [4] 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [5] 3. СанПиН 2.2.2/2.4.13400 3 [6] 4. СНиП 23-05-95 [7] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [8] 6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [9]

6.2.2 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19] работа инженера-программиста относится к категории легких работ (*AI*). Категория *AI* относится к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч производимые сидя и

сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно СанПиН 2.2.4.548-96.[17]

Данные требования приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Требования к микроклиматическим показателям помещений

Время года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимум	Допуски				Оптимум	Допуски	Оптимум	Допуски
		Максимум		Минимум					
		Пост.	Непост.	Пост.	Непост.				
Холодное	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплое	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96[17] и ГОСТ 12.1.005-88 - «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N1)» показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальный микроклимат на рабочем месте обеспечивает ощущение теплового комфорта в течение работы при минимальном напряжении механизмов терморегуляции человека, не вызывает отклонений состояния здоровья, обеспечивает условия для высокого уровня работоспособности и является предпочтительным на рабочем месте.

Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться следующие требования:

Таблица 6.3 - Допустимые значения показателей микроклимата по СанПиН 2.2.4.548–96

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(60-40)	0,1
Теплый	(23-25)	(22-26)	(60-40)	0,1

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели. Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95°С, чтобы исключить пригорание пыли.

6.2.3 Повышенный уровень шума

При работе с ПК возникают акустические поля. Воздействие шума может привести к ухудшению слуха. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте

кроме того приводит к снижению внимания персонала, замедлению скорости психических реакций [32]. Источниками шумов могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Допустимый уровень шума – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Шум, возникающий при работе оборудования и превышающий нормативные значения, негативно воздействует на центральную и вегетативную нервную систему человека, органы слуха. Ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок в работе. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [5].

Стандарт ГОСТ 12.1.003-83 [23] распространяется на технологическое оборудование, машины и другие источники шума, которые создают в воздушной среде все виды шумов. Предельно допустимые нормы уровня шума для рабочих мест согласно ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 в конструкторских бюро и лабораториях для теоретических работ приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Предельные уровни звука, дБ, на рабочих местах

Вид трудовой деятельности и рабочее место	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Проектирование и программирование	71	61	54	49	45	42	40	28	50

Уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50дБА. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены ПЭВМ, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами, а также возможно использование средств индивидуальной защиты (наушники, беруши).

6.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Важнейшим физическим фактором является освещенность производственного помещения в целом и рабочего места конкретно.

По СНиП 23-05-95[20], СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»[26] и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [21] требования к освещению рабочих мест, оборудованных персональным компьютером, показаны в таблице 6.5

Таблица 6.5 – Требования к освещению рабочих мест с ЭВМ

Освещенность на рабочем месте	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	≤ 300 лк
Блики на экране	≤ 40 кд/м ²
Прямая блескостность источника света	200 кд/м ²
Показатель ослепленности	≤ 20
Показатель дискомфорта	≤ 15
Отношение яркости: Между рабочими поверхностями	3:1 – 5:1
Между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации	$\leq 5\%$

Работа, выполняемая с использованием ПК, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана;
- вероятность появления прямой блескостности;

- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;

Определим необходимое количество светильников для данного помещения согласно «руководство по эксплуатации» светильников *TechnoLUX TLC418* (люминесцентные лампы 18 Вт, в одном светильнике 4 лампы $\Phi_{\text{л}} = 1150$ лм), установленных в аудитории [25]:

$$N = \frac{100 \cdot E \cdot S \cdot K_z}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{100 \cdot 500 \cdot 39,8 \cdot 1,25}{71 \cdot 4 \cdot 1150} = 7,61 \quad (6.2)$$

где: N – минимально необходимое количество светильников,

E – освещенность помещения согласно СП 52.13330.2011 (характеристика зрительной работы – средней точности; IV разряд зрительной работы, подразряд Б; освещенность – 500 Лк) [26],

S – площадь помещения,

K_z – коэффициент запаса (константа, принимаемая в расчетах 1,25),

U – коэффициент использования помещения (для офисных помещений с подвесными потолками белого цвета равен 71),

n – количество ламп в светильнике,

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы.

Так как в аудитории 113А установлено 12 светильников, то из формулы (6.2) видно что, количество светильников в помещении достаточно не только для учебных и исследовательских, но и более точных работ, требующих хорошего освещения.

6.2.5 Повышенные уровни электромагнитного поля

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ). Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.2.4.1191-03 приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения	Допустимые значения
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 В/м 2,5 В/м

Продолжение таблицы 6.5 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Параметры воздействия, частота излучения	Допустимые значения
Плотность магнитного потока должна быть не более в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более	500 В

Возможные способы защиты от ЭМП [27]:

- использование жидкокристаллических мониторов, т.к. его излучение значительно меньше, чем у мониторов с электроннолучевой трубкой.
- расположение монитора и системного блока компьютера максимально удаленно от оператора.
- сокращение времени работы за компьютером и увеличение количества перерывов в работе.
- применение ионизаторов воздуха для увеличения количества легких отрицательных ионов в воздухе.

6.2.6 Электробезопасность

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [22], электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с компьютером и контроллером «SIMATIC S7-400» в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

В помещении используются приборы, потребляющие напряжение 220В переменного тока с частотой 50Гц. Разработка связана с использованием следующих электроприборов: компьютером (дисплей, системный блок,

манипулятор «мышь» и клавиатура), контроллером «SIMATIC S7-300» и принтером.

Согласно с СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 [28] рабочие места с ПЭВМ должны быть оборудованы защитным занулением; подача электрического тока в помещение должна осуществляться от отдельного независимого источника питания; необходима изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; должны быть предусмотрены защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировка.

Помещение, в котором расположено рабочее место, относится к категории без повышенной опасности, и соответствует установленным условиям согласно с ГОСТ 12.1.019–85 [29].

6.3 Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации персонального компьютера и индукционного преобразователя как твердого отхода и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, его можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы).

Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха.

Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды.

Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов.
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

При этом причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;

- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения. В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо проводить плановый осмотр, вовремя выявлять и устранять неисправности и не использовать неисправные электроприборы.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара углекислотными огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91[30] и СНиП 21-01-97 [31].

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

В качестве средств пожаротушения применяются устанавливаемые в коридорах и на лестничных площадках пожарные краны. В качестве средства первичного средства пожаротушения следует использовать огнетушители, подходящие для тушения электроустановок, в частности, порошковые огнетушители. Углекислотные огнетушители также подходят для тушения электроустановок, однако, из-за опасности испарений огнетушащего вещества не подходят для использования в замкнутом помещении. План эвакуации предоставлен на рисунке 1:

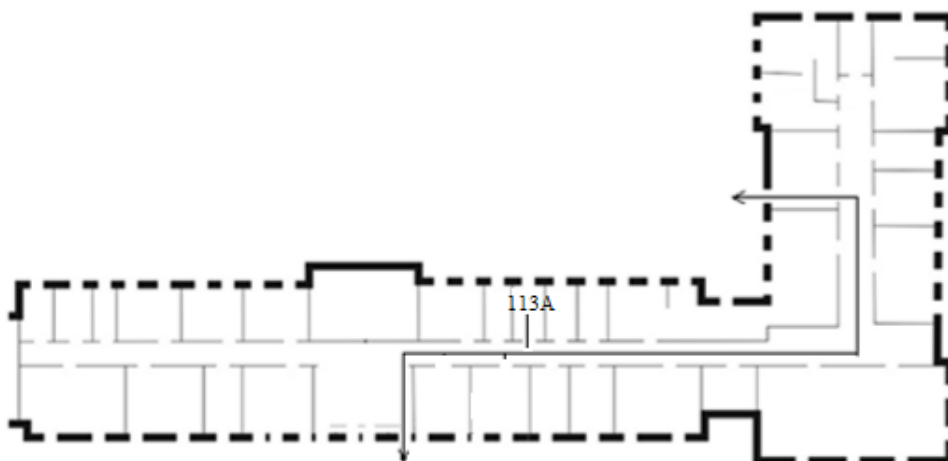


Рисунок 1 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2, 1-й этаж

7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

7.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта (ОКР) или научного исследования (НИ) необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 50% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 100%
Изучение литературных источников,		

написание теоретической части работы и математических выкладок	И	И – 100%
--	---	----------

Продолжение таблицы 7.1

Создание адаптивной САР с ПКУ	И	И – 100%
Создание программного обеспечения для ПКУ	И	И – 100%
Проведение испытаний и их результаты, доработка программного обеспечения	НР, И	НР – 30% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И – 100%

7.1.1 Определение продолжительности этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ тоже применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (7.1)$$

где t_{\min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{\max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 7.1 работ требуются специалисты:

И– инженер;

НР– научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (7.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1, 2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (7.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (7.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 7.2 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 7.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел. - дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,4	1,68	–	2,02	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	4	6	4,8	2,88	5,76	3,47	6,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Изучение литературных источников	И	7	10	8,2	–	9,84	–	11,85
Создание программного обеспечения для ПКУ	И	10	14	11,6	–	13,92	–	16,76
Создание программного обеспечения для ПКУ	И	14	20	16,4	–	19,68	–	23,69
Проведение испытаний, доработка программного обеспечения	НР, И	5	7	5,8	1,39	6,96	1,67	8,39
Обоснование безопасности и экономичности производства	И	3	5	3,8	–	4,56	–	5,49
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	5	3,8	–	4,56	–	5,49
Оформление графического материала	И	5	6	3,8	–	4,56	–	5,49
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4	1,68	1,68	2,02	2,02
Итого:				62,4	9,31	73,2	11,2	88,13

7.2 Расчет сметы затрат на создание макета КУ

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- работы, выполняемые сторонними организациями;
- прочие расходы.

7.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Блокнот	40	1 шт.	40
Бумага для принтера формата А4	150	1 уп.	150
Ручка шариковая	10	2 шт.	20
Карандаш	10	1 шт.	10
Итого:			220

Пусть ТЗР составляет 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 220 * 1,05 = 231$ руб.

7.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, включая премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн.-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн.-т}} = MO/25,083 \quad (7.5)$$

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 7.4. При расчете учитывалось, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце 25,083 рабочих дня.

Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 7.2. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы $KДЗП = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Таблица 7.4 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,10	9	1,699	20 522,05
И	15 470	616,75	73	1,699	76 493,65
Итого:					97 015,70

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили $C_{\text{ОСН}} = 97\,015,70$ руб.

7.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц.}} = C_{\text{зн}} * 0,3 \quad (7.6)$$

где $C_{\text{соц}}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 * 97\,015,70 = 29\,104,71 \text{ руб.}$$

7.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (7.7)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 6,59 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 7.2 для инженера ($T_{РД}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{РД} * K_t, \quad (7.8)$$

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{ОБ} = P_{ном} * K_C \quad (7.9)$$

где $P_{ном}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

K_C – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Персональный компьютер	384*0,7	0,3	531,42
Струйный принтер	1	0,1	0,66
Итого:			532,08

7.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A * \mathcal{E}_{об} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (7.10)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 25\%$;

$C_{ОБ}$ – цена оборудования, $C_{ОБ} = 45000$ руб.;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ часа;

t_{pf} – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, $t_{pf} = 384$ часа;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 45000 \cdot 384 \cdot 1}{2384} = 1812,08 \text{ руб.}$$

Для принтера $C_{ОБ} = 12000$ руб., его $F_D = 500$ час., $H_A = 50\%$, тогда его амортизация составит:

$$C_{AM} = \frac{0,5 \cdot 12000 \cdot 1}{500} = 36 \text{ руб.}$$

Итого $C_{AM} = 1812,08 \text{ руб.} + 36 \text{ руб.} = 1848,08 \text{ руб.}$

7.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 \quad (7.11)$$

Подставим значения и вычислим:

$$C_{\text{проч}} = (231 + 97\,015,70 + 29\,104,71 + 532,08 + 1848,08) \cdot 0,1 = 12\,873,16 \text{ руб.}$$

7.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица 7.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	231
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	97 015,70
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	29 104,71
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	532,08
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	1848,08
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	-
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	12 873,16
Итого:		141 604,73

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 141\,604,73$ руб.

7.2.8 Расчет прибыли

Примем прибыль в размере 5 - 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 28 320,95 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

7.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$(141\,604,73 + 28\,320,95) * 0,18 = 30\,586,62 \text{ руб.}$$

7.2.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 150\,689,22 + 29\,104,71 + 30\,586,62 = 201\,296,06 \text{ руб.}$$

7.3 Оценка экономической эффективности проекта

В рамках работы не представляется возможным оценить экономическую эффективность проекта, потому что для этого необходимо проводить полноценное исследование. Невозможность оценки обусловлена тем, что информация о прототипах и аналогах корректирующего устройства рассеяна, в связи с чем в рамках данной работы невозможно ее систематизировать.

Экономический эффект характеризуется повышением качества регулирования систем автоматического управления, а также снижением длительности перебоев в работе, т.к. принцип регулирования, реализованный в ПО, позволяет избежать пауз для перенастройки оборудования под изменившиеся параметры системы. Разрабатываемые метод и программное обеспечение могут быть реализованы в широком круге производств, и направлены на внедрение особенно в сфере непрерывных производств, таких как нефтепереработка, производство теплоэнергии и электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы исследован и программно реализован на контроллере SIMATIC S7-300 псевдолинейный амплитудный регулятор.

Проводилось исследование системы управления с объектом управления первого, второго и третьего порядка. Результаты исследования показали, что применение данного регулятора позволяет улучшить качество системы управления при изменении параметров объекта управления.

Программная реализация псевдолинейного регулятора произведена в программном пакете STEP7 на языке программирования FBD.

CONCLUSION

As a result of qualification work performance a pseudo-linear Amplitude channel correcting device of automatic control systems was developed, studied and software implemented on the controller SIMATIC S7-300.

Research of systems of automatic control with the control object of the second order. The results of research showed that use of this correcting device allows improving the quality of systems of automatic control if parameters of the control object are changing.

Software implementation of the pseudo-linear two-channel correcting device of automatic control systems has been made in the software package STEP7 on the programming language FBD

The guidelines for implementation of laboratory work in the software package STEP 7 on the programming language FBD were developed.

Results of work will be used in the Department of Automation and Computer Systems TPU learning process in the study of the course «Automated information management systems».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления / под ред. Ю.И. Топчиева. – М.: Машиностроение, 1971. – 466 с.: ил.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. – М: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975– 768 с.
3. Попов Е.П., Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 304 с.
4. Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А. Теория автоматического управления: Учеб. Для вузов по спец. “Автоматика и телемеханика”. В 2-х частях. Часть 1. Теория линейных систем автоматического управления/ Н.А. Бабаков, А.А. Воронов, А.А. Воронова и др.; Под ред. А.А. Воронова. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с., ил.
5. Власов К.П. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
6. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления. Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1977 – 519 с., ил.
7. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 492 с., ил.
8. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. – М.: ФИЗМФТЛИТ, 2004. – 464с
9. Чаки Ф. Современная теория управления. Нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Пер. с англ. В.В. Капитоненко и др. – М.: Мир, 1975. – 422 с.
10. Васильев К.К. Теория автоматического управления (следящие системы): Учебное пособие. – 2-е изд. – Ульяновск, 2001. – 98 с.
11. Виктор Денисенко. ПИД-регуляторы: вопросы реализации//В записную книжку инженера, СТА 1, 2008.

12. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-300 SIEMENS ST70-2007 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

http://catalog.novec.ru/catalog/siemens/s7_400.pdf

13. Программное обеспечение SIMATIC [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://catalog.novec.ru/catalog/siemens/po2.pdf>.

14. В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / Сибирский федеральный университет (СФУ). — Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2014. — 392 с.: ил. — Высшее образование. Бакалавриат. — Библиогр.: с. 384- 387.

15. Интерактивная карта учебных корпусов ТПУ [Электронный ресурс]. URL: www.map.tpu.ru.

16. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

17. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

18. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».

19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

20. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

21. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».

22. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

23. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

24. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
26. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
27. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. — Москва: Изд-во МГИУ, 2002. — 232 с.: ил.— Библиогр.: с. 227-231.
28. СПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы».
29. ГОСТ 12.1.019-85. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
30. ГОСТ 12.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменениями N 1).
31. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2).
32. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие / Ю.А. Амелькович, Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина, М.В. Гуляев, М.Э. Гусельников, А.Г. Дашковский, Т.А. Задорожная, В.Н. Извеков, А.Г. Кагиров, К.М. Костырев, В.Ф. Панин, А.М. Плахов, С.В. Романенко. — Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. — 236 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Introduction

3. STUDY OF PROPERTIES OF A PSEUDO-LINEAR CORRECTIVE DEVICE IN MATHCAD AND MATLAB ENVIRONMENTS

3.1 Amplitude corrective device study

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM81	Жуматай Абусамаат Канатулы		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая пень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ОИЯ	Сидоренко Т.В.	к.п.н.		

INTRODUCTION

One of the main problems of modern control theory is the development of ensuring the required quality of automatic control systems for objects with non-stationary parameters. Along with adjusting the parameters of the controller, it is also possible to change the dynamic properties of automatic control systems by including a corrective device in the control device, followed by adjusting its parameters during operation.

The main stage of design is to select the type and parameters of corrective devices. The same results are obtained from the work on methods of synthesis of optimal control systems by L. S. Pontryagin and N. N. Krasovsky. All this also indicates that the design of control systems by various methods leads to the need to choose a certain type of linear and nonlinear correcting devices. Therefore, in recent years, corrective devices in automatic control systems have been given considerable attention.

Linear correction devices (or four-pole devices) have limited opportunities to obtain high quality indicators and accuracy of control processes in automatic systems. In view of this, modern control systems began to use nonlinear correction devices. Increasing requirements for the accuracy and quality of control processes, the degree of noise immunity and reliability of systems have led to an even greater spread of this type of corrective devices.

For the purposes of analysis and synthesis of nonlinear systems are widely used frequency-domain methods. With this approach, from a wide variety of schemes of nonlinear devices suitable for use in the correction circuits of automatic control systems, a certain class of nonlinear correcting devices can be distinguished, whose equivalent amplitude-phase characteristics do not depend on the amplitude of the input signal. This circumstance allows us to consider nonlinear rectifiers of this class as pseudo-linear. It should be borne in mind that in such devices there is no rigid connection between the amplitude and phase characteristics.

This final qualification work is devoted to the development, research and software implementation of a pseudo-linear correction device with amplitude suppression (attenuation).

3.1 Amplitude corrective device study

In this work, a pseudo-linear correction device with amplitude suppression (attenuation) is selected for the implementation of the regulator as a corrective device, the scheme of which is shown in figure 3.1.1.

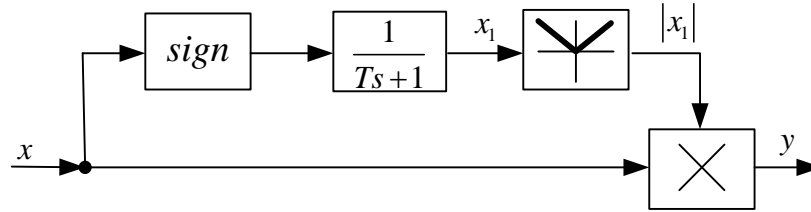


Figure 3.1.1 -Scheme of a pseudo-linear correction device with amplitude suppression (attenuation)

The device used includes two control channels and works as follows. The input signal, branching out, passes through two channels. The upper amplitude channel consists of a linear element with a transfer function, a sign signature block, and a signal module selection block; the input signal follows the lower branch unchanged. The output signal of the filter is obtained as the product of the output signals of both branches.

$$y = |x_1| x, \quad (19)$$

and x_1 is defined by the equation

$$T \dot{x}_1 + x_1 = \text{sign} x. \quad (20)$$

The transfer function is defined by the formula

$$W_A(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (21)$$

where k is the transmission coefficient of the aperiodic link; T is the time constant.

Assuming that a sinusoidal signal $y=F(x)$ acts at the filter input, the solution of equation (22) is obtained as

$$x_1 = x_{10} e^{-\frac{t}{T}} \pm (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (22)$$

where

$$x_{10} = \mp \frac{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}, \quad (23)$$

moreover, the upper sign in expressions (22) and (23) is taken at a positive half-wave of the input signal x . the waveform of the characteristic points is shown in figure 3.1.2.

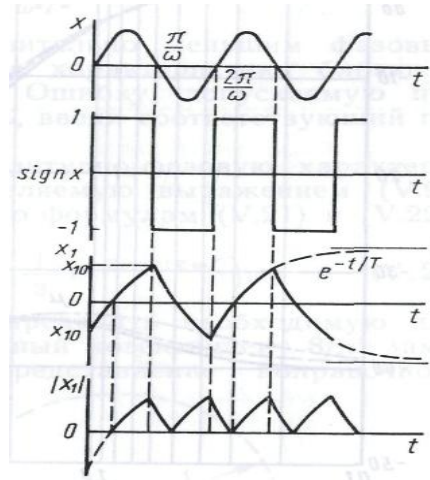


Figure 3.1.2- Signal Form at characteristic points of a nonlinear filter with amplitude suppression for the case of a sinusoidal input signal.

The coefficients of harmonic linearization of a nonlinear filter are determined by the known formulas, and for our case has the form

$$a = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} [|x_1| A \sin \omega t] \sin \omega t d(\omega t), \quad (24)$$

$$b = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} [|x_1| A \sin \omega t] \cos \omega t d(\omega t), \quad (25)$$

Since within the interval $(0, \pi)$ there is a change in the *sign* x_1 , which is included in the integral expression, the integration interval is divided into two: $(0, \alpha)$ and (α, π) , where the value of α , found from the relation (23), has the form

$$\alpha = \omega T \ln \frac{2}{2 + e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}, \quad (26)$$

Calculated using formulas (24) and (25), taking into account the comments made, and (25), the values of a and b are written as:

$$a = 1 - \frac{2\alpha}{\pi} + \frac{2 \sin \alpha}{\pi(1 + 4\omega^2 T^2)} (\cos \alpha - 2\omega T \cos \alpha); \quad (27)$$

$$b = -\frac{2 \sin \alpha}{\pi(1 + 4\omega^2 T^2)} (\sin \alpha - 2\omega T \cos \alpha). \quad (28)$$

A linear filter in the amplitude branch has a transfer function of the form

$$W_A(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (29)$$

Amplitude characteristic of a nonlinear link:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (30)$$

Expressions (27) and (28) indicate that the harmonic linearization coefficients a and b depend only on frequency, so the amplitude characteristic of the considered nonlinear filter, defined by the formula (30), also depends only on frequency and does not depend on the amplitude of the input signal, i.e. $q=f(\omega)$.

If we ignore the influence of the higher harmonics of the sign x meander (see figure 1), i.e. we consider the signal at the output of the signature block to be sinusoidal, then we get simplified formulas for calculating a and b :

$$\alpha = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \cos 2\theta\right), \quad (31)$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \sin 2\theta\right), \quad (32)$$

Where $\theta = -\arctg \omega \cdot T$

Below is a family of logarithmic amplitude-frequency characteristics of a correction device with amplitude suppression at different values of the time constant T in the MathCad software package (figure 3.1.3).

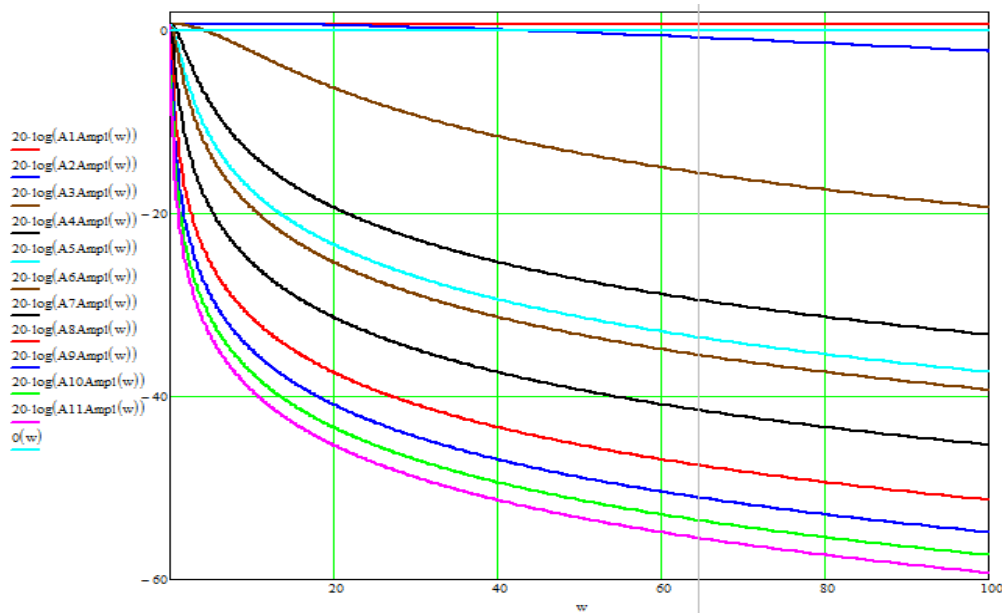


Figure 3.1.3 -Investigation of logarithmic amplitude-frequency characteristics of a correction device with amplitude suppression.

The logarithmic amplitude-frequency response was calculated using the formulas (31), (32) and (30). When constructing a logarithmic amplitude-frequency response, the gain k always remains constant and equal to $k=1$, only T changes from 0 to 10sec.

Figure 3.1.1 shows a family of logarithmic amplitude-frequency characteristics :

- 1 - Corresponds to the curve at $Tl = 0 \text{ sec}$;
- 2 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.01 \text{ sec}$;
- 3 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.1 \text{ sec}$;
- 4 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.5 \text{ sec}$;
- 5 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.8 \text{ sec}$;
- 6 - Corresponds to the curve at $Tl = 1 \text{ sec}$;
- 7 - Corresponds to the curve at $Tl = 2 \text{ sec}$;
- 8 - Corresponds to the curve at $Tl = 4 \text{ sec}$;
- 9 - Corresponds to the curve at $Tl = 6 \text{ sec}$;
- 10 - Corresponds to the curve at $Tl = 8 \text{ sec}$;
- 11 - Corresponds to the curve at $Tl = 10 \text{ sec}$.

The following is a family of logarithmic phase frequency response correction devices with phase advance at different values of the time constant T in the MathCad software package (figure 3.1.4).

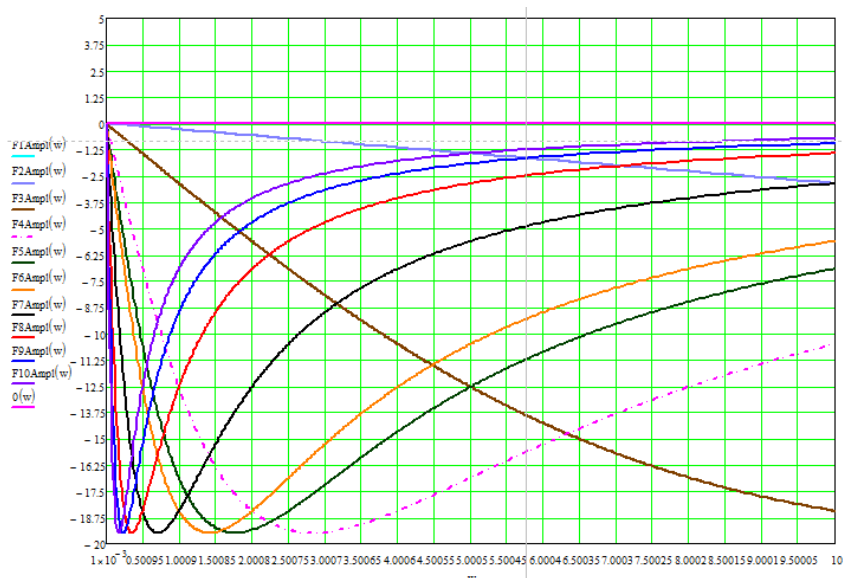


Figure 3.1.4-Investigation of logarithmic phase-frequency characteristics of a correction device with amplitude suppression

LpFR was calculated using the formula:

$$\mu(\omega, T) = a \tan\left(\frac{b(\omega, T)}{a(\omega, T)}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (33)$$

When constructing the LpFR, the time constant k always remains constant and equal to 1 s. only T changes from 0 to 10 s.

Figure 3.1.4 shows a family of logarithmic phase-frequency characteristics :

- 1 - Corresponds to the curve at $Tl = 0 \text{ sec}$;
- 2 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.01 \text{ sec}$;
- 3 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.1 \text{ sec}$;
- 4 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.5 \text{ sec}$;
- 5 - Corresponds to the curve at $Tl = 0.8 \text{ sec}$;
- 6 - Corresponds to the curve at $Tl = 1 \text{ sec}$;
- 7 - Corresponds to the curve at $Tl = 2 \text{ sec}$;
- 8 - Corresponds to the curve at $Tl = 4 \text{ sec}$;
- 9 - Corresponds to the curve at $Tl = 6 \text{ sec}$;
- 10 - Corresponds to the curve at $Tl = 8 \text{ sec}$;
- 11 - Corresponds to the curve at $Tl = 10 \text{ sec}$.

In this work, we will consider a class of objects described by transfer functions of the form:

$$W(s) = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1} \quad (34)$$

This function describes a large number of various technological objects: process tanks connected via resistance to the main pipeline under pressure, various technological

parameters for a blast furnace. Examples of two-capacity objects ($T_1 \neq 0$) can serve as two stages of a superheater drum steam boiler, as well as many other objects.

Thus, the selected transfer function describes the behavior of a sufficiently large class of process control objects.

To analyze the adaptive properties of a pseudo-linear correction device with amplitude suppression, consider the operation of automatic control systems, shown in figure 3.1.5.

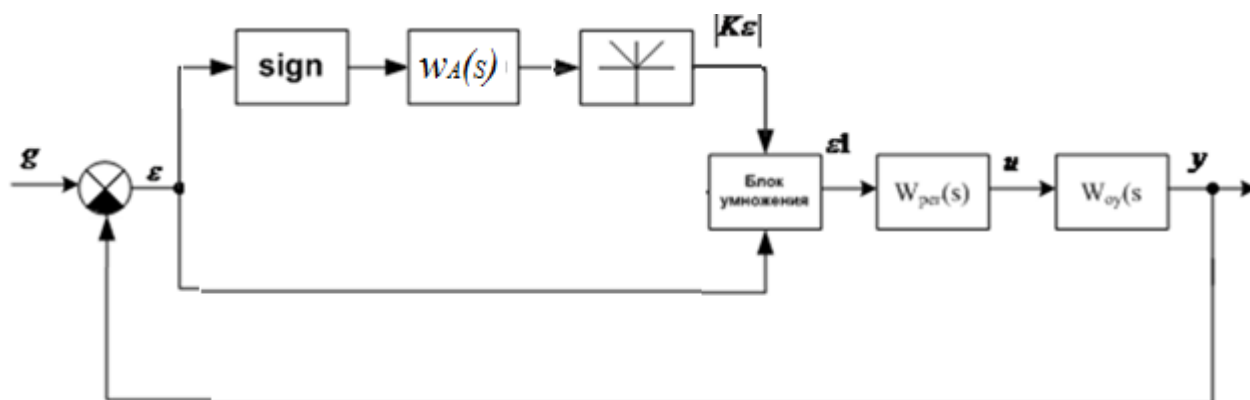


Figure 3.1.5 - Diagram of automatic control systems with a PID-controller and a pseudo-linear correction device with amplitude suppression.

The transfer function of the control object will be set by the following parameters $T_1=3$ sec., $T_2=0.5$ sec., and $k=1$. The controller parameters are shown below. The gain factor is $k=1$. The transfer function of the linear element of the link that is included in the correction device has the form:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (35)$$

The parameters of the PID-controller are taken from the standard signal constraint block of the Matlab Simulink environment.

Below is a model of automatic adjustment systems for a correction device with amplitude suppression in the MatLab environment. Figure 5 shows a model of automatic control systems with and without a correction device.

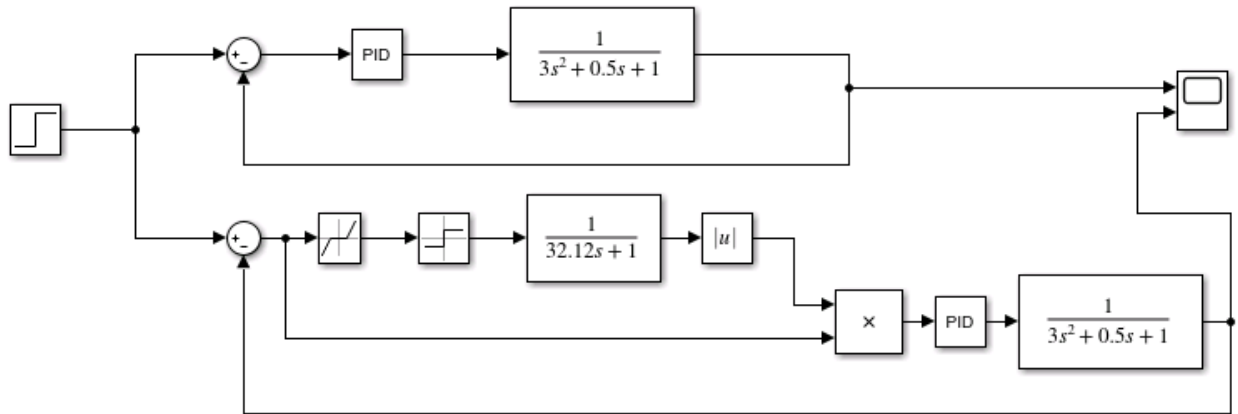
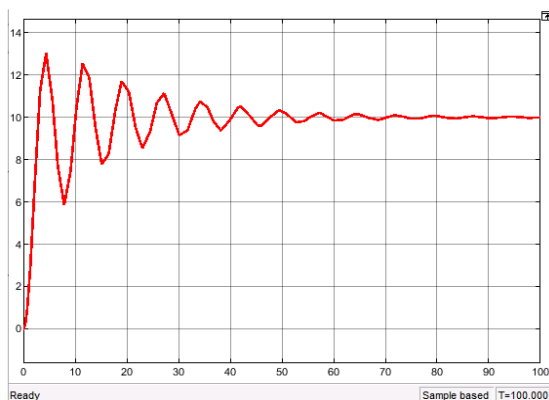


Figure 3.1.6-Models of automatic control systems in the MatLab package: upper system without a correction device; lower system with a correction device;

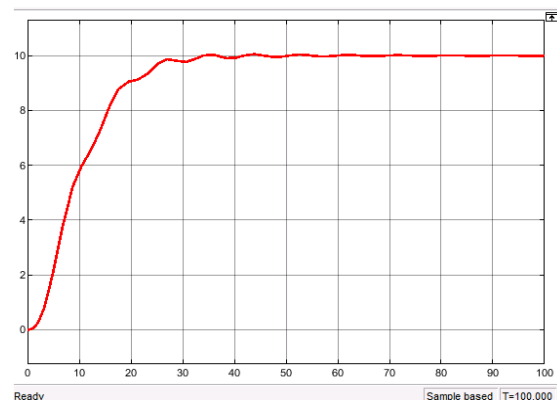
The transfer function of the second-order control object has the following form:

$$W(s) = \frac{1}{3s^3 + 0.5s^2 + 1}. \quad (36)$$

The PID-controller has the following settings: CProp. = 1, CInt. = 0.5, CDiff. = 0.6. These parameters are then used for building transients (figure 3.1.7). This figure shows the transition process with a corrective device and shows the transition process without a corrective device.



a.



b.

Figure 3.1.7-Characteristics of transients of the 2nd order; a) without a corrective device; b) with a corrective device;

The figure above shows that the quality of the transition process with the correction device is much better.

Next, consider the same scheme as in figure 3.1.6, but this time the control object will be of the third order (figure 3.1.8).

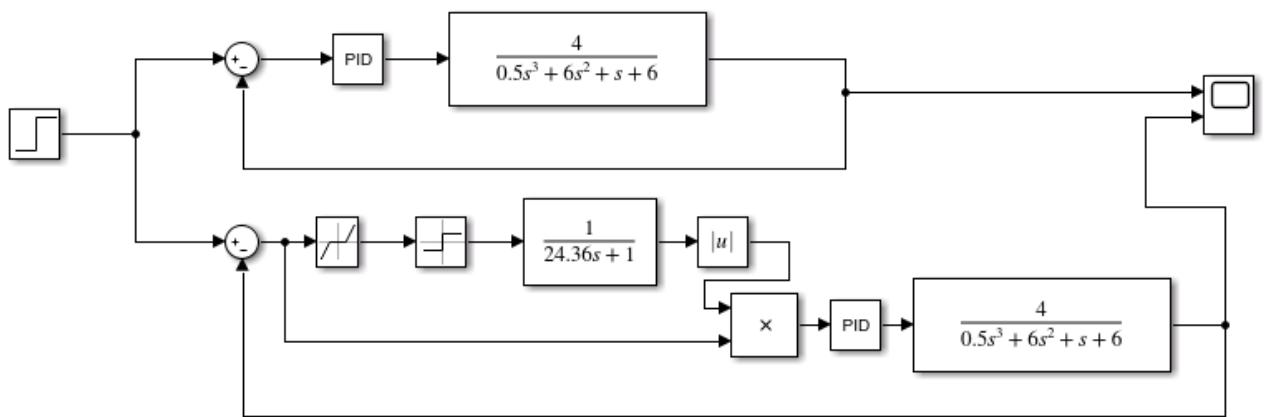
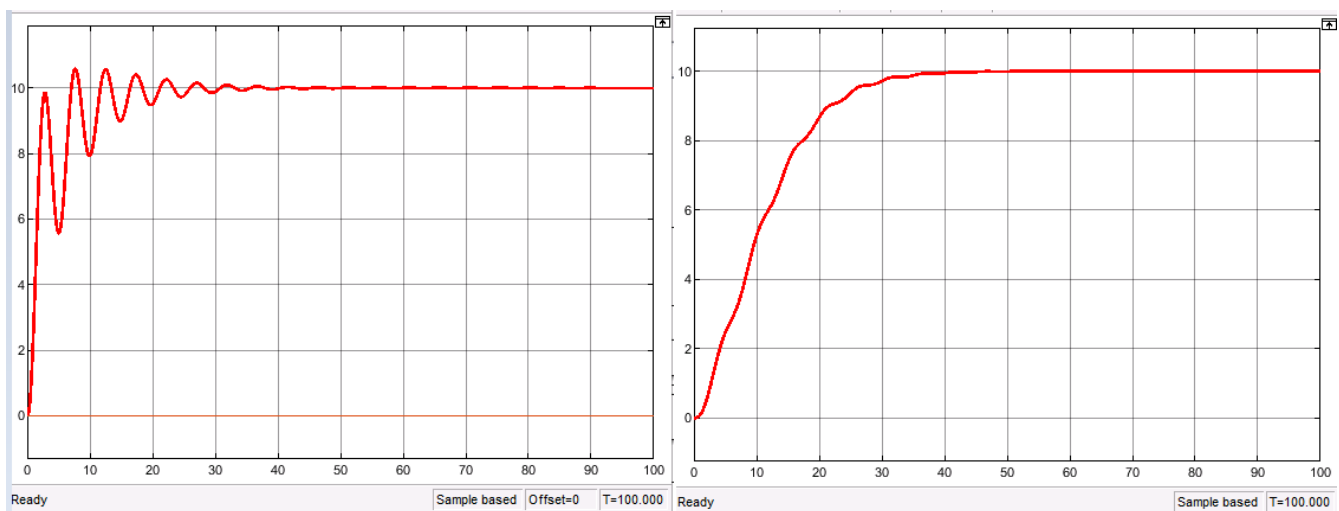


Figure 3.1.8-Models of automatic control systems in the MatLab package; upper system without a correction device; lower system with a correction device

The transfer function of a third-order control object has the following form:

$$W(s) = \frac{4}{0,5s^3 + 6s^2 + s + 6}. \quad (37)$$

The PID-controller has the following settings: CProp. = 1, CInt. = 0.5, CDiff. = 0.6. According to these parameters, the transition process is then built with a correction device (figure 3.1. 9, b) and without a correction device (figure 3.1. 9, a).



a.

b.

Figure 3.1.9-Characteristics of transients of the 3rd order; a) without a corrective device; b) with a corrective device;

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

```
function [sys,x0,str,ts] = test(t,x,u,flag)
%a=0;
%
switch flag,
    case 0,
        [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;
    case 3,
        sys=mdlOutputs(t,x,u);
    case {1,2,4,9}
        sys=[]; %do nothing
    otherwise
        error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
%
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes
%
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 0;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
%
x0 = [];
str = [];
ts = [0 0];
%
function sys=mdlOutputs(t,x,u)
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant4','Value',num2str(u))
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Blok_Nastroiki_korrektoral/Constant41','Value','0')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Blok_Nastroiki_korrektoral/Constant44','Value','0')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Blok_Nastroiki_korrektoral/Constant43','Value','1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant3','Value','1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant15','Value','1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant16','Value','1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant37','Value','0')

set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant18','Value','1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant14','Value','0.1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant19','Value','0')

set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant20','Value','1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant17','Value','0.1')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/BNK2/Constant21','Value','0')

%set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Blok_Nastroiki_korrektoral/Constant21','Value','1')
%b=num2str([u 1])
%c=num2str([u])

%set_param('amplitudno_fazoviy_podstroika_integral_kvadrat/TransferFcn2','Denominator','[8 7 1]')
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

```
function [sys,x0,str,ts] = test(t,x,u,flag)
%a=0;
%
switch flag,
    case 0,
        [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;
    case 3,
        sys=mdlOutputs(t,x,u);
    case {1,2,4,9}
        sys=[]; %do nothing
    otherwise
        error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
%
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes
%
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 0;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
%
x0 = [];
str = [];
ts = [0 0];
%
function sys=mdlOutputs(t,x,u)
%b=num2str([u 1])
%c=num2str([u])

%set_param('amplitudno_fazoviy_podstroika_integral_kvadrat/Transfer
Fcn2','Denominator','[8 7 1]')
%set_param('amplitudno_fazoviy_podstroika_integral_kvadrat/Transfer
Fcn1','Denominator','[19 3 1]')

%if t>500
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Transfer Fcn2','Denominator','[2 1
1]')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Transfer Fcn2','Numerator','[1]')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Transfer Fcn11','Denominator','[2 1
1]')
set_param('amplitudniy_integral_kvadrat/Transfer Fcn11','Numerator','[1]')
%set_param('amplitudno_fazoviy_podstroika_integral_kvadrat/Transfer
Fcn1','Denominator','[170 3 1]')
sys = [];
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

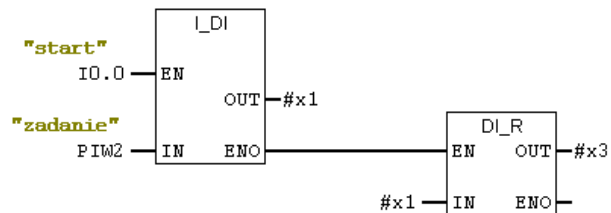
Текст программы работы системы автоматического управления (САУ) с адаптивным корректирующим устройством (КУ) на языке FBD в STEP 7

OB1 : "Main Program Sweep (Cycle)"

Comment:

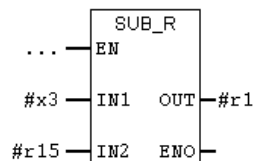
Network 1: Title:

Конвертируем входное число типа integer (уставка-1) в число типа double integer.
Конвертируем входное число типа double integer в число с плавающей точкой.
Вычитаем разность двух вещественных чисел.



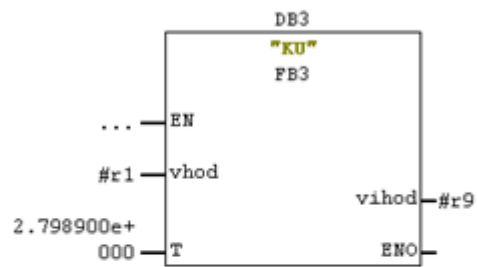
Network 2: Title:

Сумматор: разность входного сигнала и сигнала обратной связи



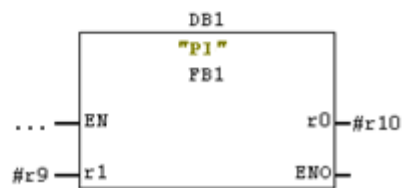
Network 3 : Title:

Корректирующее устройство



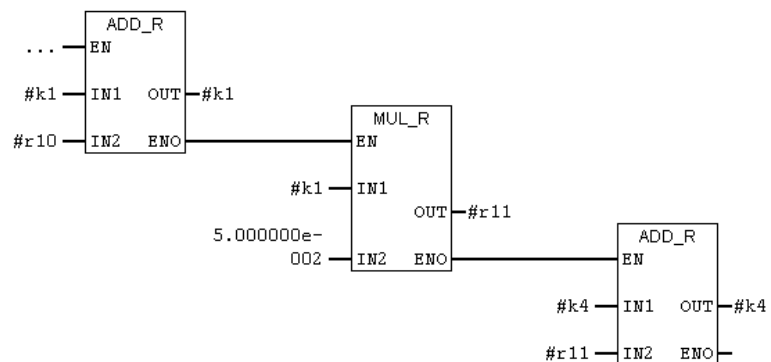
Network 4 : Title:

Блок ПИ регулятора



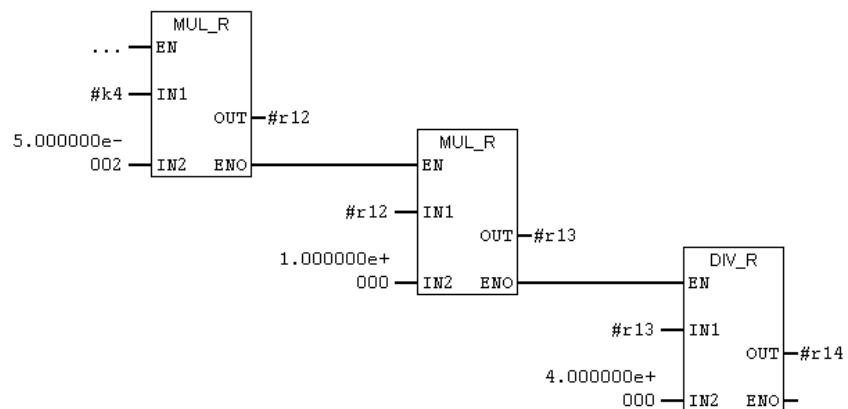
Network 5 : Title:

K=1
T1=4



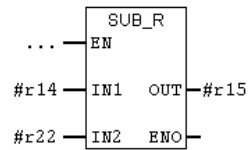
Network 6 : Title:

Comment:



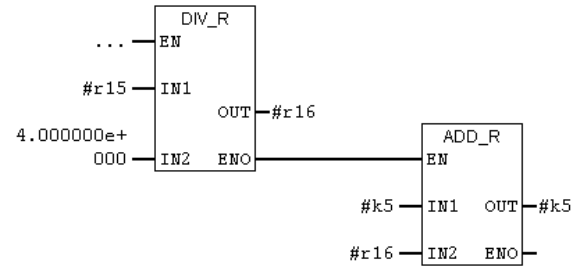
Network 7 : Title:

Comment:



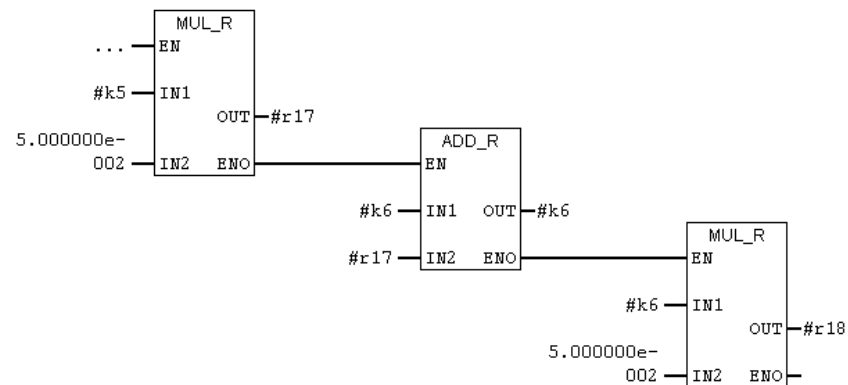
Network 8 : Title:

Comment:



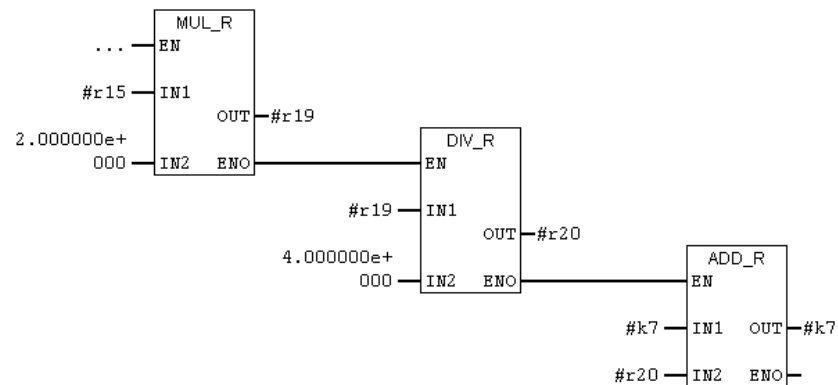
Network 9 : Title:

Comment:



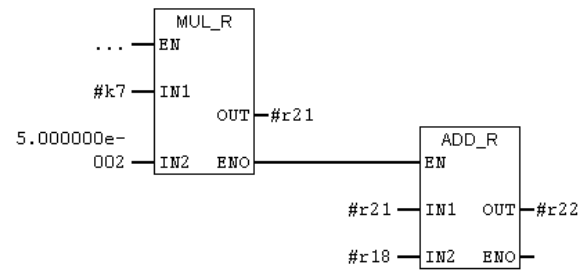
Network 10 : Title:

Comment:



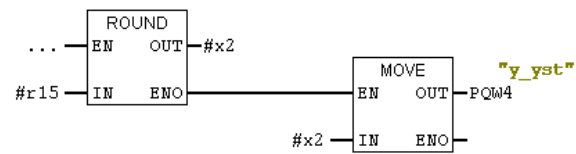
Network 11 : Title:

Comment:



Network 12 : Title:

Конвертируем число типа integer в число типа double integer.
Конвертируем число типа double integer в число типа integer.



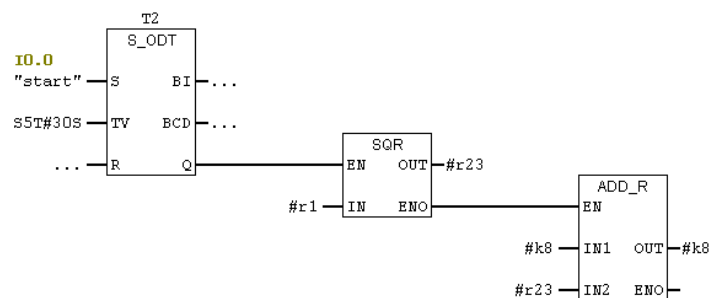
ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Текст программы определения интегральной квадратичной ошибки и реализации линейной зависимости параметра КУ от отклонения интегральной квадратичной ошибки на языке FBD в STEP 7

Определение интегральной квадратичной ошибки

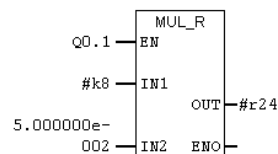
Network 13 : Title:

Вычисление интегральной квадратичной ошибки



Network 14 : Title:

Вычисление интегральной квадратичной ошибки



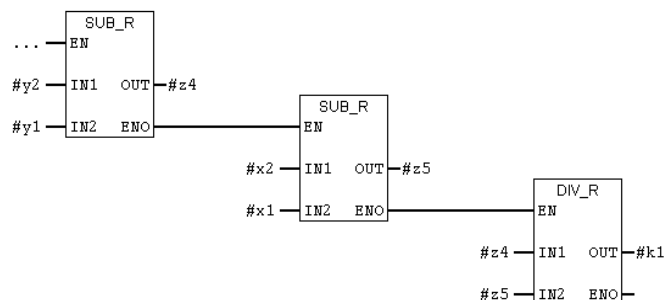
Текст программы линейной зависимости параметра КУ от отклонения интегральной квадратичной ошибки

FB2 : Title:

Объект регулирования 2-го порядка

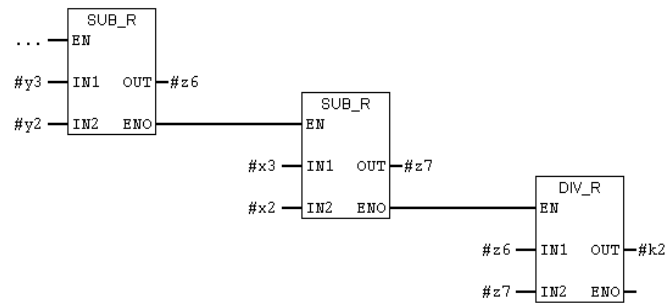
Network 1 : Title:

коэффициент прямой k1



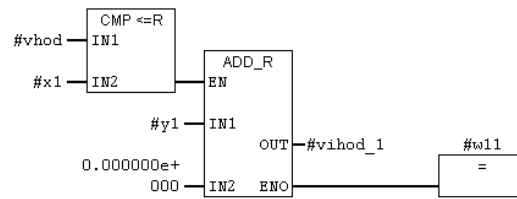
Network 2 : Title:

коэффициент прямой k2



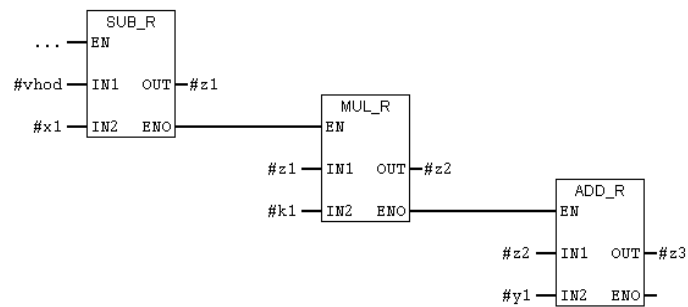
Network 3 : Title:

первое условие



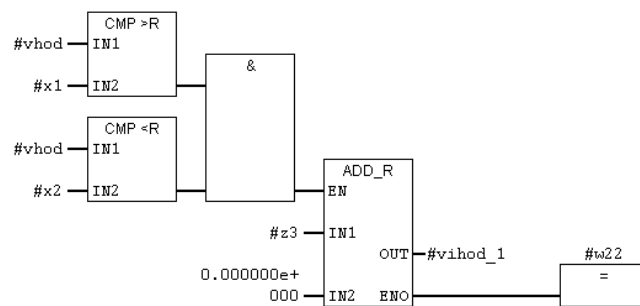
Network 4 : Title:

Comment:



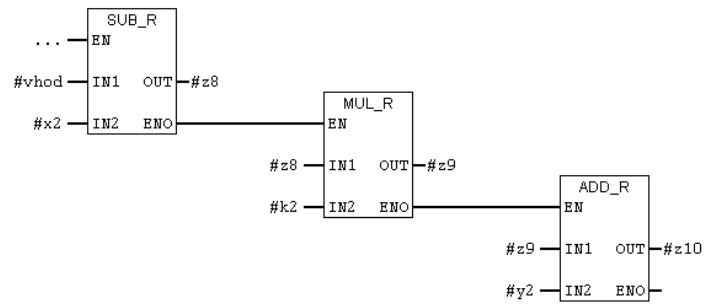
Network 5 : Title:

второе условие



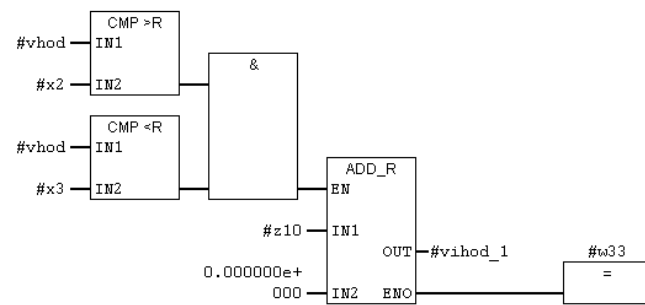
Network 6 : Title:

Comment:



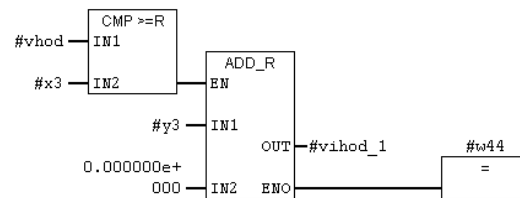
Network 7 : Title:

третье условие



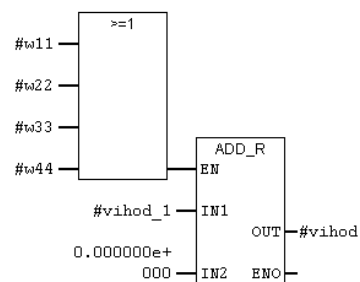
Network 8 : Title:

четвертое условие



Network 9 : Title:

Comment:



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗУЧЕНИЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА»

А. К. Жуматай

ИЗУЧЕНИЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА

Методические указания к выполнению лабораторной работы № ____
по курсу «_____» для студентов направления

Издательство
Томского политехнического университета
2020

УДК _____
ББК _____

Жуматай А. К.

А446 Методические указания к выполнению лабораторной работы №____ по курсу
«_____» для студентов направления _____
А. К. Жуматай. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020.
– 45 с.

УДК _____
ББК _____

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим
семинаром ОАР ИШИТР «_____» 2020 г.

Руководитель ОАР ИШИТР
кандидат технических наук _____ *А.А. Филипас*

Председатель учебно-методической
комиссии _____

Рецензент
Доцент, кандидат технических наук
Скороспешкин М.В.

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2020
© Жуматай А.К., 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	130
1 Цель работы	131
2 Корректирующие устройства.....	132
2.1 Линейные корректирующие устройства.....	132
2.2 Нелинейные корректирующие устройства.....	133
2.3 Псевдолинейные корректирующие устройства	135
2.4 Псевдолинейное амплитудное корректирующее устройство	140
2.5 Критерий качества регулирования	150
3 Обзор блоков FBD пакета STEP 7, используемых в данной лабораторной работе.....	154
3.1 Обзор битовых логических команд, счетчиков, триггеров	154
3.2 Таймерные команды	158
3.3 Математические инструкции над числами с плавающей точкой	164
3.4 Функции преобразования	168
3.5 Функции передачи.....	169
4 Структурная схема лабораторного стенда.....	171
5 Программа реализации системы автоматического управления с псевдолинейным регулятором на языке программирования FBD в пакете STEP 7.....	173
6 Задание	181
7 Требования к содержанию отчета	182

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение псевдолинейного регулятора с амплитудным подавлением и создания программы работы системы автоматического управления (САУ) с данного регулятора на языке FBD в программном пакете STEP 7.

2 КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Под коррекцией систем автоматического управления (САУ) понимается изменение их динамических свойств (характеристик) с целью обеспечения требуемого запаса устойчивости, повышения динамической точности и показателей качества переходного процесса. Коррекция осуществляется включением в систему дополнительных элементов – корректирующих устройств, которые должны изменить динамику всей системы в нужном направлении.

Основная задача корректирующих устройств состоит в улучшении точности системы и качества переходных процессов. Однако наряду с этим путем введения корректирующих устройств можно решать и более общую задачу – сделать систему устойчивой, если она была без них неустойчивой, а затем добиться и желаемого качества процесса регулирования.

Все корректирующие устройства, применяемые в системах автоматического управления, можно разделить на линейные и нелинейные.

2.1 Линейные корректирующие устройства

Линейные корректирующие устройства имеют ряд достоинств и широко применяются для улучшения динамических свойств как линейных, так и нелинейных автоматических систем. Вместе с тем линейным корректирующим устройствам присущи и недостатки. К ним, в частности, следует отнести жесткую зависимость между амплитудными и фазовыми частотными характеристиками. Так, например, дифференцирующие фазопережающие цепи создают положительный сдвиг, но одновременно вносят ослабление в области низких частот, т. е. в области спектра полезного сигнала. Этим объясняется низкая помехоустойчивость дифференцирующих цепей. Интегрирующие корректирующие контуры подавляют высокие частоты, но при этом создают запаздывание колебаний по фазе, что приводит к ухудшению переходных процессов и т. д. В то же время было бы желательно, чтобы корректирующие устройства создавали опережение по фазе без изменения амплитудной характеристики, подавляли высокие частоты без изменения

фазовой характеристики, обеспечивали опережение по фазе и одновременно ослабляли высокие частоты. Эти задачи могут быть решены с помощью нелинейных корректирующих устройств.

Кроме указанных недостатков, линейные корректирующие устройства имеют ограниченные возможности в получении высоких показателей качества в автоматических системах. Например, если в линейной системе для повышения быстродействия (уменьшения времени установления t_v) увеличивать коэффициент усиления разомкнутой системы k_p , то это приводит к уменьшению запаса устойчивости, увеличению колебательности переходного процесса. Для иллюстрации сказанного на рисунке 1 приведены кривые 1 и 2 переходных процессов линейной САУ при коэффициентах усиления k_{p1} и k_{p2} соответственно ($k_{p2} > k_{p1}$).

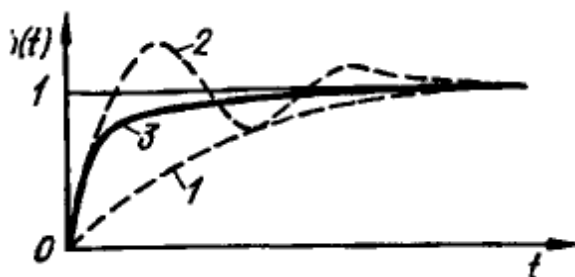


Рисунок 1 – Переходные процессы САУ при линейной (1 и 2) и нелинейной (3) коррекции.

Применение линейных корректирующих устройств позволяет повысить в некоторых пределах значение коэффициента усиления системы, однако это не снимает указанного противоречия и необходимости компромиссного решения при выборе коэффициента усиления системы и настройке корректирующего устройства.

Указанное противоречие можно устранить применением нелинейных корректирующих устройств, изменяющих свое влияние на систему в зависимости от величины отклонения от установившегося режима (ошибки системы).

2.2 Нелинейные корректирующие устройства

В результате применения нелинейной коррекции, может быть получен желаемый процесс, изображенный, например, на рисунке 1 кривой 3. Как видно из рисунка, он сочетает полезные свойства процессов 2 и 1: начальная часть процесса 3

совпадает с процессом 2 линейной системы, благодаря чему обеспечивается большое быстродействие системы, а окончание процесса 3 подобно окончанию процесса 1, т. е. является монотонным. Такой процесс может быть достигнут, например, изменением коэффициента усиления разомкнутой системы, k_p в зависимости от величины ошибки θ . При больших θ значение k_p должно быть большим, чтобы обеспечить быстрое уменьшение ошибки (начальный участок кривой 3), а по мере уменьшения θ значение k_p должно уменьшаться для завершения переходного процесса без перерегулирования. Такое изменение k_p может быть реализовано, например, с помощью простейшего последовательного нелинейного корректирующего устройства (рисунок 2, а). При больших значениях напряжения ошибки u_θ нелинейное сопротивление R_1 мало и поэтому коэффициент усиления цепи $k_1 = R_2 / (R_1 + R_2)$ велико. По мере уменьшения u_θ нелинейное сопротивление R_1 увеличивается, а коэффициент усиления k_1 уменьшается. Примерный график зависимости k_1 от u_θ изображен на рисунок 2, б. По такому же графику будет изменяться и коэффициент усиления системы k_p . Недостаток коррекции с помощью рассматриваемого корректирующего устройства состоит в том, что оно изменяет лишь k_p системы, не компенсируя при этом вредное влияние инерционностей ее элементов. Из-за этого получаются малые значения k_p в установившихся динамических режимах, следовательно, большие динамические ошибки системы.

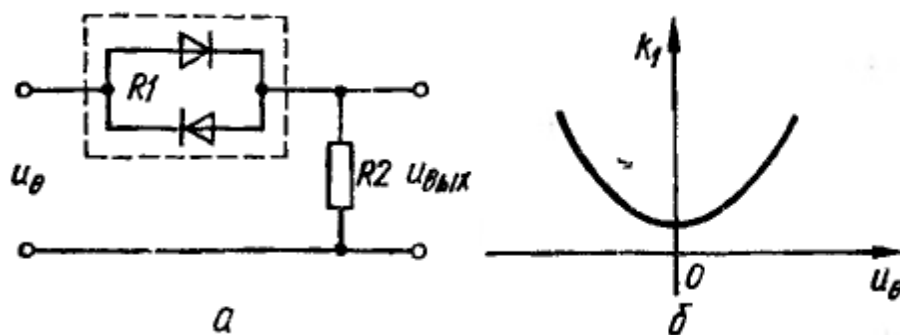


Рисунок 2 – Последовательное нелинейное корректирующее устройство (а) и его характеристика $k_1 = f(u_\theta)$ (б).

С помощью нелинейных корректирующих устройств возможно удовлетворение повышенным требованиям к показателям качества САУ. Нелинейную коррекцию можно рассматривать как более общее средство коррекции, чем линейную коррекцию, которую можно отнести к частному случаю нелинейной коррекции. Построение оптимальных по быстродействию возможно только благодаря применению нелинейных устройств управления. С помощью нелинейных корректирующих устройств решается задача компенсации вредных естественных нелинейностей. Вместе с тем следует отметить, что нелинейная коррекция является более специализированной (менее универсальной) по отношению к внешним воздействиям. Нелинейная коррекция, выбранная для определенного класса внешних воздействий, может оказаться малоэффективной или даже вредной при других воздействиях (режимах работы системы). Поэтому при широком диапазоне внешних воздействий может оказаться лучшей линейная коррекция. Следует отметить, что общей методики синтеза нелинейных корректирующих устройств в настоящее время нет. Приходится прибегать к применению частных приемов и схем нелинейных корректирующих устройств.

2.3 Псевдолинейные корректирующие устройства

Среди нелинейных корректирующих устройств можно выделить класс таких устройств, эквивалентные амплитудно-фазовые характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала и являются только функциями частоты. У этих устройств отсутствует жесткая связь между амплитудой и фазовой характеристиками, как это имеет место у линейных корректирующих устройств. На этом основании нелинейные корректирующие устройства данного класса можно рассматривать как псевдолинейные. Возможность формирования амплитудной и фазовой характеристик псевдолинейных корректирующих устройств независимо друг от друга открывает широкие возможности изменения частотных характеристик САУ в желаемом направлении.

При решении задачи стабилизации замкнутых систем управления для создания необходимых запасов устойчивости требуется не только избежать охвата

критической точки $(-1, j0)$ годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы, но и обеспечить его необходимое удаление от этой точки.

Можно утверждать, что наиболее желательными корректирующими устройствами были бы такие, частотные характеристики которых имеют один из трех видов, представленных на рисунке 3 и соответственно обеспечивающих подавление усиления с ростом частоты без изменения фазы (рисунок 3,а); увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления (рисунок 3,б); ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты (рисунок 3,в).

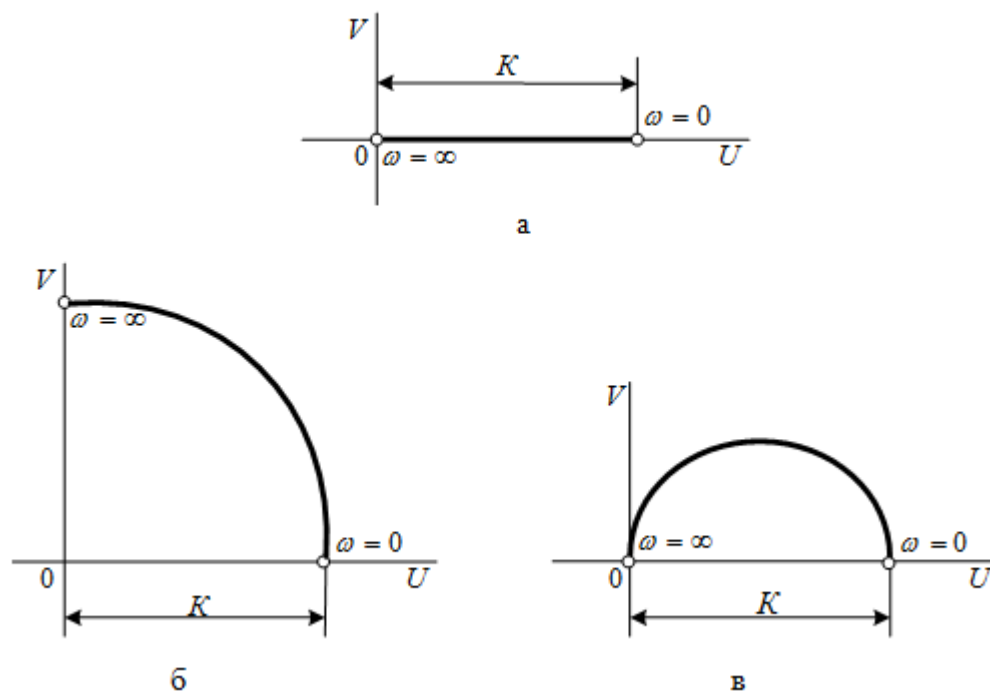


Рисунок 3 – Вид желаемых амплитудно-фазовых характеристик корректирующих устройств:
 а – ослабление амплитуды с ростом частоты без изменения фазы; б – увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления; в – ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты

При помощи включения корректирующего устройства, обладающего любой из указанных частотных характеристик, может быть улучшена относительная устойчивость системы автоматического управления, т.е. увеличены запасы устойчивости по фазе и модулю.

Использование корректирующего устройства в системе управления с частотной характеристикой, показанной на рисунке 3,а, позволяет изменить амплитудную характеристику, не влияя на фазовую. Такое корректирующее устройство называется корректирующим устройством с амплитудным подавлением (ослаблением) и может быть выполнено по схеме, показанной на рисунке 4.

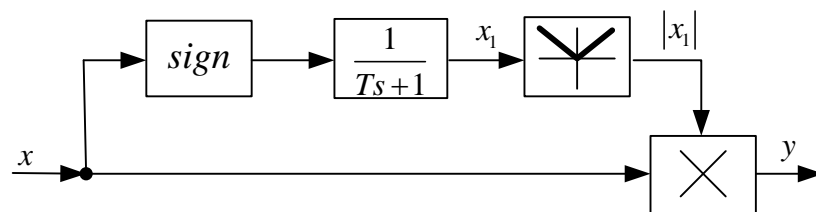


Рисунок 4 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением

В случае применения корректирующего устройства с характеристикой, изображенной на рисунке 3,б, видоизменяется фазовая характеристика системы, амплитудная же остается прежней. В данном случае использовалось корректирующее устройство с фазовым опережением, схема которого приведена на рисунке 5:

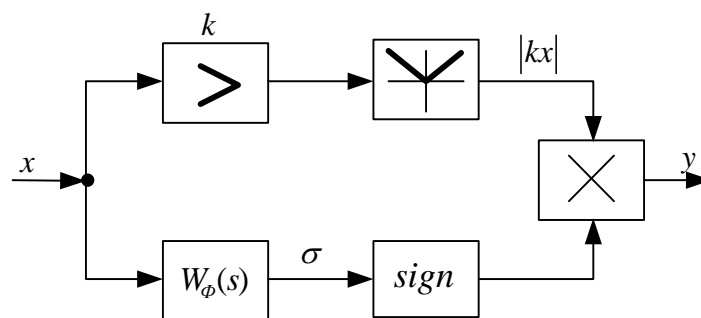


Рисунок 5 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Корректирующим устройством, позволяющим относительно независимо формировать амплитудную и фазовую характеристики, является двухканальное корректирующее устройство с отдельными каналами для амплитуды и фазы.

Схема псевдолинейной коррекции, представленная на рисунке 6, позволяет получить различные амплитудно-фазовые соотношения, т.е. относительно независимо формировать амплитудную и фазовую характеристики. Эти характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала. Соответствующим

образом, изменяя параметры линейных элементов, входящих в схему, можно получить желаемые характеристики. Поэтому предложенная схема формирования корректирующих устройств является универсальной. Для общего случая линейный элемент W_ϕ в фазовой ветви является форсирующим звеном, а фильтр W_A в амплитудной ветви – элементом, создающим ослабление амплитуды и отставание по фазе.

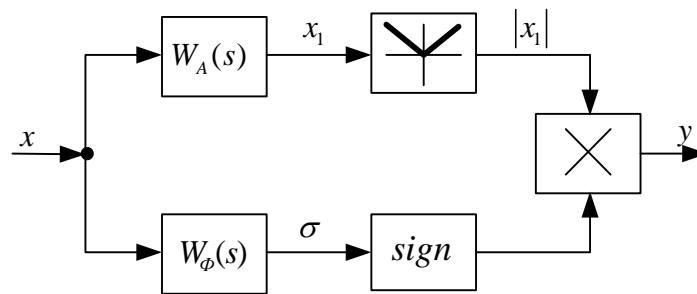


Рисунок 6 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы

Входной сигнал разветвляется и проходит по двум каналам. Один из каналов (верхний) служит для формирования амплитудной характеристики и называется амплитудным, второй – фазовый канал формирует фазовую характеристику устройства.

Амплитудный канал состоит из линейного элемента с передаточной функцией $W_A(s)$ и модульного элемента (например, двухполупериодного выпрямителя). Амплитудная характеристика линейного элемента определяет амплитудную характеристику всего корректирующего устройства. Модульный элемент дает на выходе величину, пропорциональную амплитуде колебания на его входе и исключает прохождение информации о фазе входного сигнала x . Фильтр служит для выделения постоянной составляющей выпрямленного напряжения.

В фазовый канал входят линейный элемент с передаточной функцией $W_\phi(s)$ и блок sign (блок знака). Фазовая характеристика линейного элемента определяет фазовую характеристику всего корректирующего устройства. Блок сигнатуры исключает прохождение информации об амплитуде через фазовый канал и представляет собой релейное устройство с характеристикой, близкой к идеальной.

При изменении знака сигнала на входе изменяется знак выходного сигнала блока сигнатуры, а величина его принимает лишь два фиксированных значения ± 1 , независимо от значения амплитуды входного сигнала. Выходная величина U корректирующего устройства получается в результате перемножения выходных величин амплитудного и фазового каналов в блоке умножения.

Приведенная на рисунке 6 структурная схема псевдолинейного корректирующего устройства является довольно общей. Выбирая линейные элементы с соответствующими передаточными функциями $W_A(s)$ и $W_\phi(s)$, можно реализовать псевдолинейное корректирующее устройство с желаемыми, независимыми друг от друга амплитудой и фазовой частотными характеристиками.

2.4 Псевдолинейное амплитудное корректирующее устройство

В данной работе качестве корректирующего устройства выбрано псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением (ослаблением), схема которого представлена на рисунке 7.

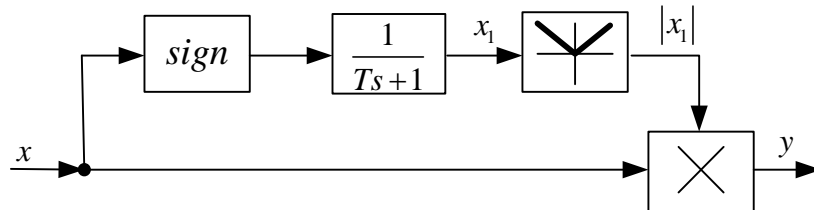


Рисунок 7 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением (ослаблением)

Используемое устройство включает в себя два канала управления и работает следующим образом. Входной сигнал, разветвляясь, проходит по двум каналам. Верхний амплитудный канал состоит из линейного элемента с передаточной функцией $W_A(s)$, блока сигнатуры $sign$ и блока выделения модуля сигнала; по нижней ветви входной сигнал следует без изменения. Сигнал на выходе фильтра получается как произведение выходных сигналов обеих ветвей

$$y = |x_1| x, \quad (1)$$

причем x_1 определяется уравнением

$$T\dot{x}_1 + x_1 = sign x. \quad (2)$$

Передаточная функция $W_A(s)$ определяется по формуле

$$W_A(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (3)$$

где k – коэффициент передачи апериодического звена; T – постоянная времени.

Предполагая, что на входе фильтра действует синусоидальный сигнал $y = F(x)$, решение уравнения (4) получим в виде

$$x_1 = x_{10} e^{-\frac{t}{T}} \pm (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (4)$$

где

$$x_{10} = \mp \frac{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}, \quad (5)$$

причем верхний знак в выражениях (4) и (5) берется при положительной полуволне входного сигнала x . Форма сигналов в характерных точках показана на рис. 8.

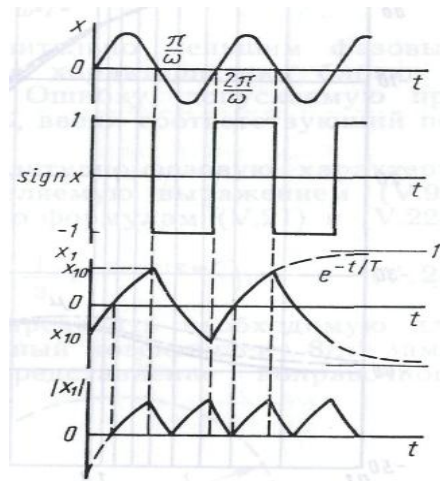


Рис.8 – Форма сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с амплитудным подавлением для случая синусоидального входного сигнала.

Коэффициенты гармонической линеаризации нелинейного фильтра определяются по известным формулам, и для нашего случая имеет вид

$$a = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} [|x_1| A \sin \omega t] \sin \omega t d(\omega t), \quad (6)$$

$$b = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} [|x_1| A \sin \omega t] \cos \omega t d(\omega t), \quad (7)$$

Поскольку внутри интервала $(0, \pi)$ происходит изменение знака x_1 , входящего в подынтегральное выражение, интервал интегрирования разбиваются на два: $(0, \alpha)$ и (α, π) , где значение α , найденное из соотношения (5), имеет вид

$$\alpha = \omega T \ln \frac{2}{2 + e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}, \quad (8)$$

Вычисленные по формулам (6) и (7), с учетом сделанных замечаний, и (7) значения a и b запишутся в виде:

$$a = 1 - \frac{2\alpha}{\pi} + \frac{2 \sin \alpha}{\pi(1 + 4\omega^2 T^2)} (\cos \alpha - 2\omega T \cos \alpha); \quad (9)$$

$$b = -\frac{2 \sin \alpha}{\pi(1 + 4\omega^2 T^2)} (\sin \alpha - 2\omega T \cos \alpha). \quad (10)$$

линейный фильтр в амплитудной ветви имеет передаточную функцию вида

$$W_A(s) = \frac{k}{Ts+1} \quad (11)$$

амплитудная характеристика нелинейного звена:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} \quad (12)$$

Выражения (9) и (10) свидетельствует о том, что коэффициенты гармонической линеаризации a и b зависят только от частоты, поэтому амплитудная характеристика рассматриваемого нелинейного фильтра, определяемый формулой (12), также зависит только от частоты и не зависит от амплитуды входного сигнала, т. е. $q=f(\omega)$.

Если пренебречь влиянием высших гармоник меандра $sign x$ (см. рисунок 7), т.е. считать сигнал на выходе блока сигнатуры синусоидальным, то, получим упрощенные формулы для расчета a и b :

$$\alpha = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \cos 2\theta\right), \quad (13)$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \sin 2\theta\right), \quad (14)$$

где $\theta = -\arctg \omega \cdot T$

Ниже представлено семейство логарифмической амплитудно-частотной характеристики корректирующего устройства с амплитудным подавлением при различных значениях постоянной времени T в программном пакете MathCad (рисунок 9).

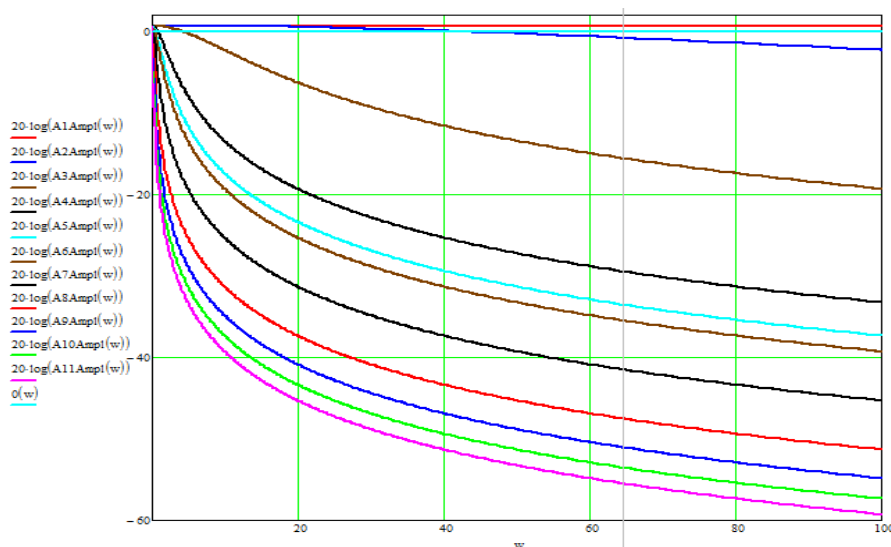


Рисунок 9 – Исследование логарифмических амплитудно-частотных характеристик корректирующего устройства с амплитудным подавлением

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика рассчитывалась по формулам (13), (14) и (12). При построении логарифмической амплитудно-частотной характеристики коэффициент усиления k всегда остается постоянной и равной Ic , изменяется только T от 0 до 10с.

На рисунке 9 представлено семейство логарифмических амплитудно-частотных характеристик :

- 12- Соответствует кривой при $T1=0c$;
- 13- Соответствует кривой при $T2=0,01c$;
- 14- Соответствует кривой при $T3=0,1c$;
- 15- Соответствует кривой при $T4=0,5c$;
- 16- Соответствует кривой при $T5=0,8c$;
- 17- Соответствует кривой при $T6=1c$;
- 18- Соответствует кривой при $T1=2c$;
- 19- Соответствует кривой при $T7=4c$;
- 20- Соответствует кривой при $T8=6c$;
- 21- Соответствует кривой при $T9=8c$;
- 22- Соответствует кривой при $T10=10c$;

Далее представлено семейство ЛФЧХ корректирующего устройства с фазовым опережением при различных значениях постоянной времени T в программном пакете MathCad (рисунок 10).

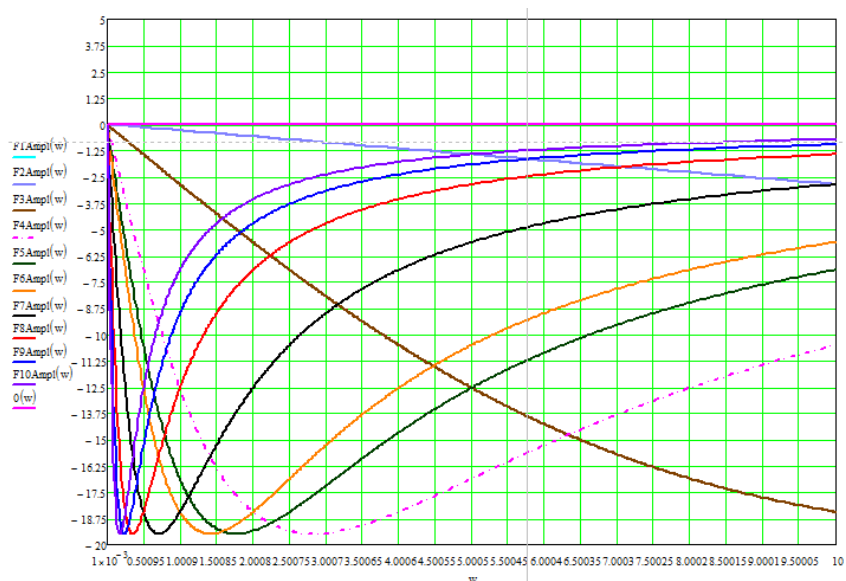


Рисунок 10 – Исследование логарифмических фазочастотных характеристик корректирующего устройства с амплитудным подавлением

ЛФЧХ рассчитывалось по формуле:

$$\mu(\omega, T) = a \tan\left(\frac{b(\omega, T)}{a(\omega, T)}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (15)$$

При построение ЛФЧХ также постоянная времени k всегда остается постоянной и равной 1 с. , изменяется только T от 0 до 10 с.

На рисунке 10 представлено семейство характеристик ЛФЧХ:

- 1 - Соответствует кривой при $T1=0 \text{ с.}$;
- 2 - Соответствует кривой при $T2=0,01 \text{ с.}$;
- 3 - Соответствует кривой при $T3=0,1 \text{ с.}$;
- 4 - Соответствует кривой при $T4=0,5 \text{ с.}$;
- 5 - Соответствует кривой при $T5=0,8 \text{ с.}$;
- 6 - Соответствует кривой при $T6=1 \text{ с.}$;
- 7 - Соответствует кривой при $T1=2 \text{ с.}$;
- 8 - Соответствует кривой при $T7=4 \text{ с.}$;
- 9 - Соответствует кривой при $T8=6 \text{ с.}$;
- 10 - Соответствует кривой при $T9=8 \text{ с.}$;
- 11 - Соответствует кривой при $T10=10 \text{ с.}$;

В данной работе рассматривается класс объекта управления, описываемый передаточной функцией вида:

$$W(s) = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1} \quad (16)$$

Данной функцией описывается большое количество всевозможных технологических объектов: технологические резервуары, подключенные через сопротивление к магистральному трубопроводу под давлением, различные

технологические параметры для доменной печи. Примерами двумкостных объектов ($T_I \neq 0$) могут служить две ступени пароперегревателей барабанного парового котла, а также многие другие объекты.

Таким образом, выбранная передаточная функция описывает поведение достаточно большого класса технологических объектов управления.

Для анализа адаптивных свойств псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением рассмотрим работу систем автоматического управления, представленную на рисунке 11.

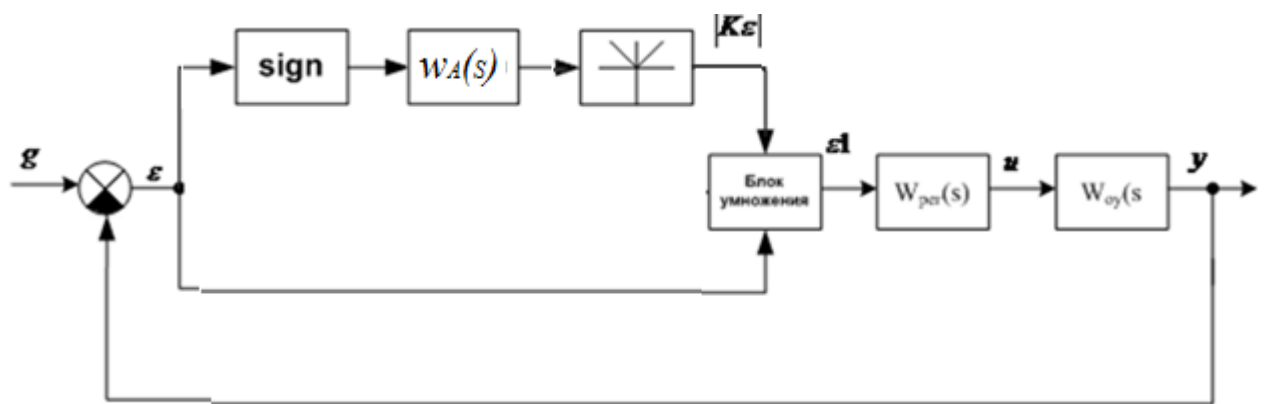


Рисунок 11 - Схема систем автоматического управления с пид-регулятором и псевдолинейным корректирующим устройством с амплитудным подавлением

Передаточная функция объекта управления будет задана следующими параметрами $T_1=3c$, $T_2=0,5c$ и $k=1$. Параметры регулятора представлены ниже. Коэффициент усиления примем $k=1$. Передаточная функция линейного элемента звена, входящего в КУ имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (17)$$

Параметры пид-регулятора берем из стандартного блока signal constraint среды Matlab Simulink.

Далее приведена модель систем автоматического регулирования корректирующего устройства с амплитудным подавлением в среде MatLab. На

рисунке 12 отображена модель систем автоматического регулирования с применением корректирующего устройства и без корректирующего устройства.

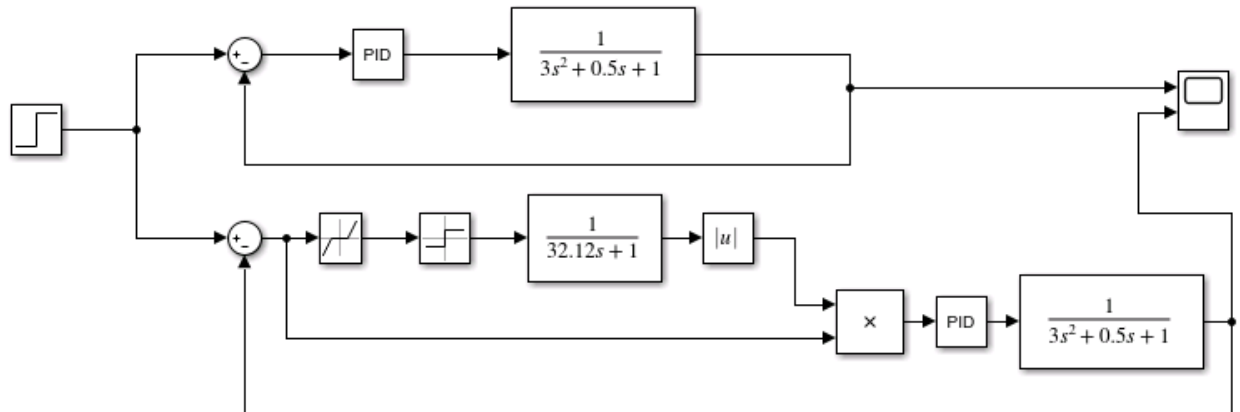
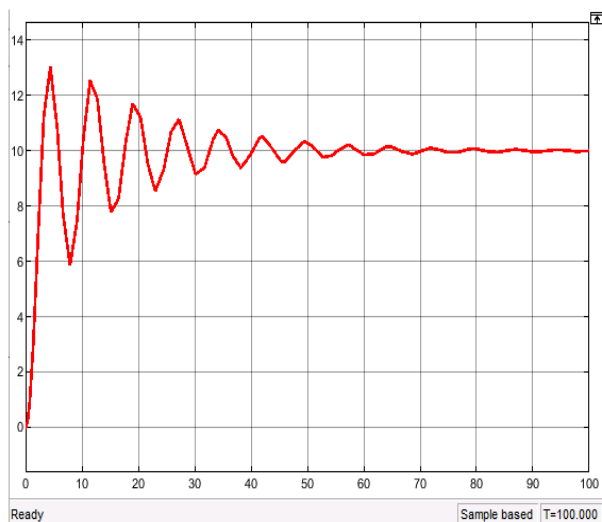


Рисунок 12 –Модели систем автоматического регулирования в пакете MatLab: верхняя система без корректирующего устройства; нижняя система с корректирующим устройством;

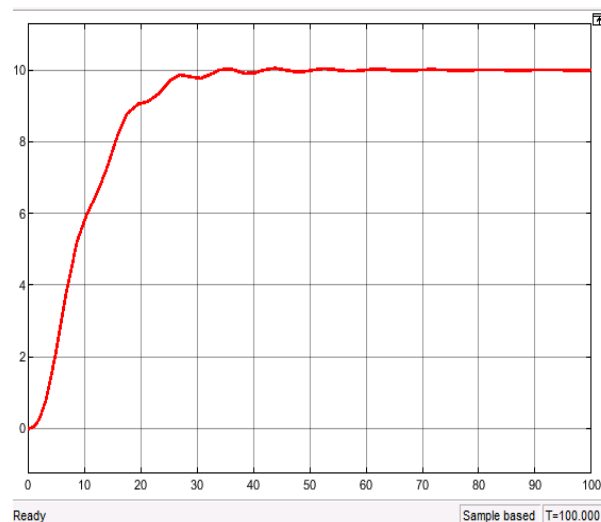
Передаточная функция объекта управления второго порядка имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{1}{3s^2 + 0.5s + 1}.$$

ПИД - регулятор имеет следующие настройки: $K_p = 1$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.6$. По данным параметрам далее строятся переходные процессы (Рисунок 13). На данном рисунке изображен переходный процесс с корректирующим устройством и изображен переходный процесс без корректирующего устройства.



а)



б)

Рисунок 13 –Характеристики переходных процессов 2го порядка; а) без корректирующего устройства; б) с корректирующим устройством;

Из приведенного выше рисунка видно, что качество переходного процесса с корректирующим устройством значительно лучше.

Далее рассмотрим такую же схему что и на рисунке 12, но в этот раз объект управления будет уже третьего порядка (рисунок 14).

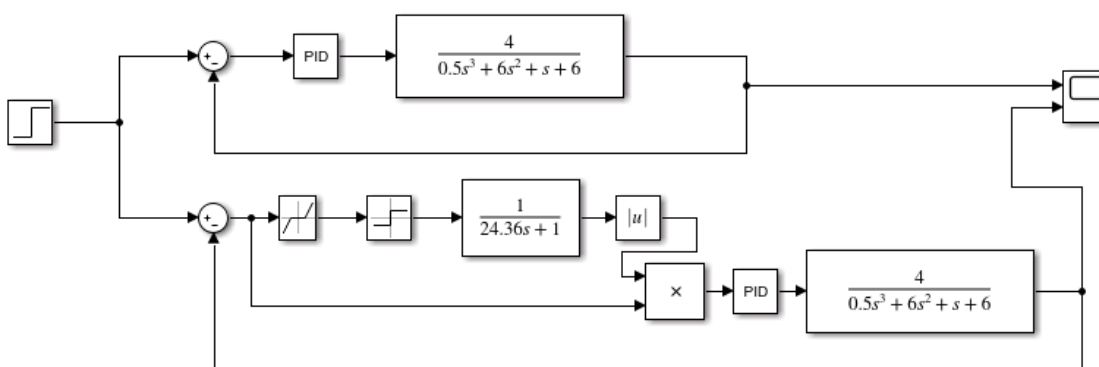
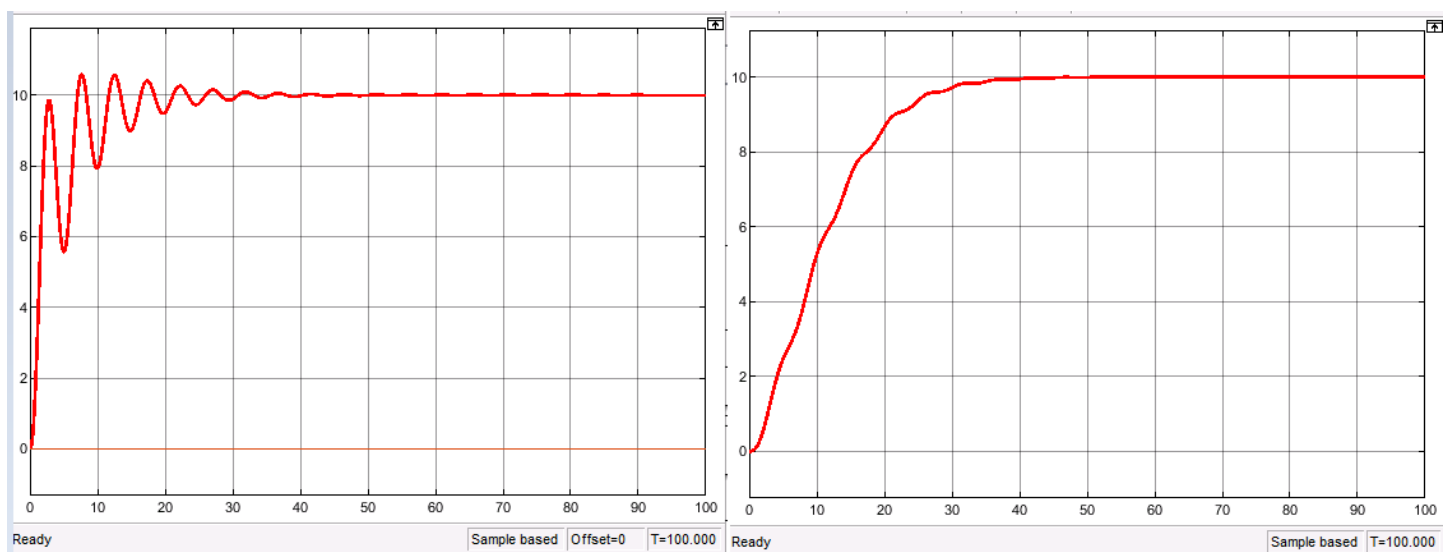


Рисунок 14 –Модели систем автоматического регулирования в пакете MatLab; верхняя система без корректирующего устройства; нижняя система с корректирующим устройством

Передаточная функция объекта управления третьего порядка имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{4}{0,5s^3 + 6s^2 + s + 6}.$$

ПИД - регулятор имеет следующие настройки: $K_n = 1$, $K_u = 0,5$, $K_d = 0,6$. По данным параметрам далее строится переходный процесс с корректирующим устройством (рисунок 15,б) и без корректирующего устройства (рисунок 15,а).



а)

б)

Рисунок 15 –Характеристики переходных процессов 3го порядка; а) без корректирующего устройства; б) с корректирующим устройством;

2.5 Критерий качества регулирования

Выбор критерия качества регулирования зависит от цели, для которой используется регулятор.

Целью может быть:

- поддержание постоянного значения параметра (например, температуры);
- слежение за изменением уставки или программное управления т.д.

В общем случае качество регулирования представляет собой совокупность точности в установившемся режиме и качества переходных процессов.

Для оценки качества регулирования обычно используют ступенчатое входное воздействие и ряд критериев для описания формы переходного процесса.

Оценки качества могут быть прямыми и косвенными. В свою очередь прямые и косвенные могут быть статическими и динамическими. Динамические оценки характеризуют переходной процесс, а статические – установившийся режим.

Прямые оценки определяются непосредственно по переходной характеристике по каналу управления или возмущения (рисунок 16).

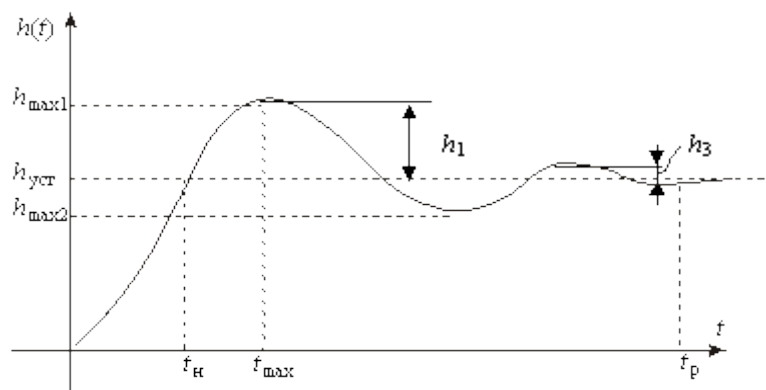


Рисунок 16 – Переходная характеристика

К основным прямым оценкам относятся следующие:

- перерегулирование (σ) – разность между максимальным значением переходной характеристики $h_{\max 1}$ и её установившимся значением $h_{уст}$, выраженная в процентах:

$$\sigma = \frac{|h_{уст} - h_{\max 1}|}{h_{уст}} \cdot 100\% . \quad (18)$$

В большинстве случаев требуется, чтобы перерегулирование не превышало 10 – 30 %;

- время регулирования (t_p) – время, за которое регулируемая величина в переходном процессе начинает отличаться от установившегося значения менее, чем на заранее заданное значение q , где q – точность регулирования. Значение q выбирают обычно равным 5 %;

- декремент затухания ε . Максимальное перерегулирование (h_{\max}) характеризует склонность системы к колебательности. Декремент колебательности (степень затухания) – количественная оценка интенсивности затухания колебательности переходного процесса:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_3}{h_1}; \quad (19)$$

- число колебаний (n), которое имеет переходная характеристика за время регулирования t_p . Если переходная характеристика представляет собой затухающие колебания, то система считается устойчивой. При этом допускается не более 2 – 3 колебаний;

- время нарастания переходного процесса (t_H) – промежуток времени, за который на нарастающем фронте импульса уровень изменяется от низкого опорного значения (обычно 10%) до высокого опорного значения (обычно 90%);

- время достижения первого максимума (t_{\max}).

Среди косвенных оценок наибольшее распространение получили интегральные оценки. Существует две разновидности интегральной оценки:

- линейная интегральная оценка определяется следующим выражением:

$$I_0 = \int_0^{t_p} (y_{\text{зад}} - y) dt, \quad (20)$$

где y – текущее значение рабочего параметра. Эта оценка может быть применена только при монотонных переходных процессах при отсутствии колебаний.

- квадратичная интегральная оценка применяется как при монотонных, так и при колебательных переходных процессах и определяется следующим соотношением:

$$I^2 = \int_0^{t_p} (y_{зад} - y)^2 dt. \quad (21)$$

Недостаток интегральной квадратичной оценки заключается в том, что различные по характеру переходные процессы могут иметь одну и ту же величину оценки.

В данной работе адаптация системы проводилась с использованием поисковых сигналов. В качестве поискового сигнала в данной работе используется последовательность прямоугольных импульсов известной частоты ($\nu = 1/T$, где T - период следования импульсов) и амплитуды (h) (рисунок 17):

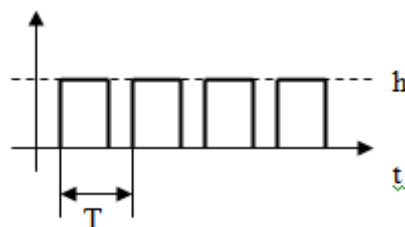


Рисунок 17 – Прямоугольные импульсы поискового сигнала

Структура адаптивной системы с поисковым сигналом имеет вид (рисунок 18):

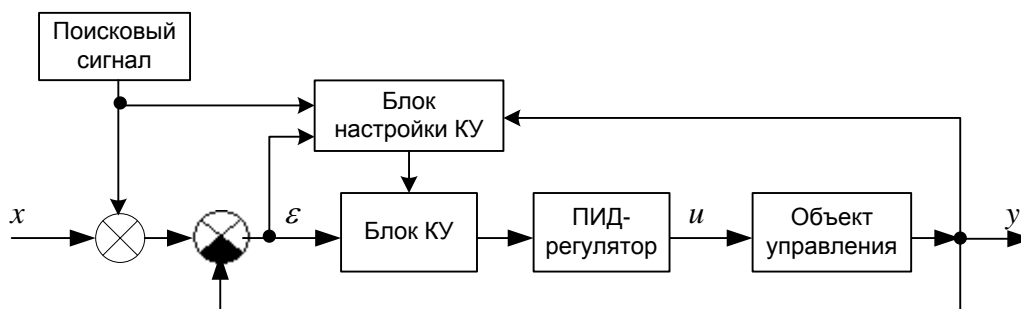
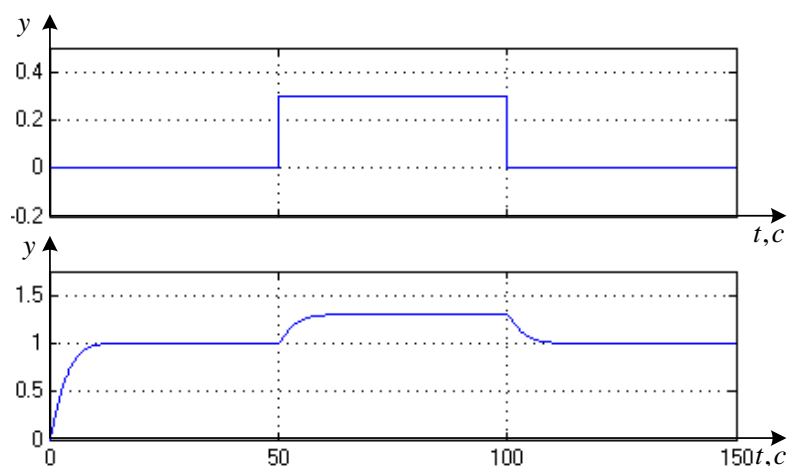
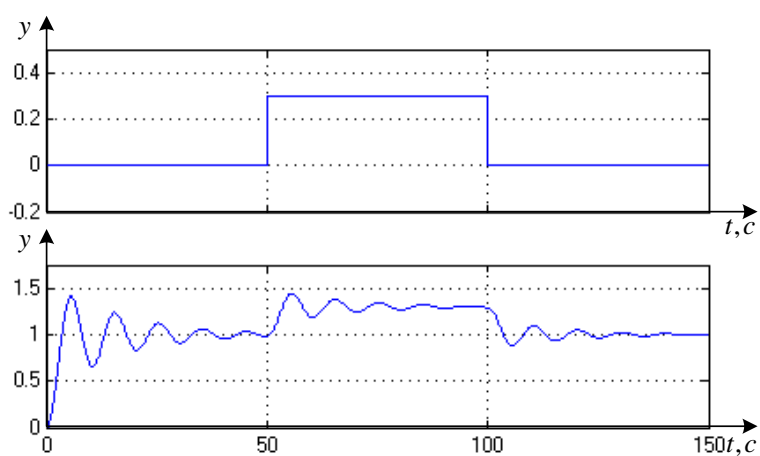


Рисунок 18 – Структура адаптивной системы с поисковым сигналом

Пусть на входе адаптивной САУ к задающему единичному ступенчатому воздействию x добавляется поисковый сигнал. Если в момент подачи поискового сигнала система была устойчива и имела монотонный характер переходного процесса, то реакция системы на пробный сигнал будет следующей (рисунок 19, а):



а)



б)

Рисунок 19 – Реакция системы на пробный импульс

Если на момент подачи пробного сигнала параметры системы изменились так, что она перестала быть устойчивой или переходный процесс стал колебательным, то реакция на пробный сигнал будет иметь вид рисунок 19, б. Появление такой реакции является сигналом к тому, что свойства ОУ ухудшились и необходимо начать корректировку параметров КУ, чтобы улучшить качество управления объектом.

3 ОБЗОР БЛОКОВ FBD ПАКЕТА STEP 7, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ДАННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

3.1 Обзор битовых логических команд, счетчиков, триггеров

Битовые логические инструкции работают с двумя числами, 1 и 0. Эти две цифры образуют базис системы счисления, называемой двоичной системой. Цифры 1 и 0 называются двоичными цифрами (binary digits) или просто битами. При работе со схемами, использующими контакты и катушки, значение 1 означает активное состояние или протекание тока, а 0 – неактивное состояние или отсутствие протекания тока.

Битовые логические инструкции интерпретируют состояния сигналов 1 и 0 и комбинируют их по правилам булевой логики. Эти комбинации дают результат 1 или 0, называемый «результатом логической операции» (RLO).

Битовые логические операции предоставляют в распоряжение следующие функции:

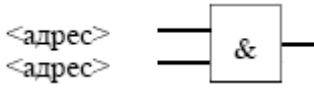
- И, ИЛИ и исключающее ИЛИ: эти операции опрашивают состояние сигнала и выдают результат, который или копируется в бит RLO, или комбинируются с ним;
- Присваивание и коннектор: эти операции присваивают значение RLO или сохраняют его временно.
- Следующие команды реагируют на $RLO = 1$:
 - Установить выход и Сбросить выход;
 - Триггер S/R и триггер R/S.
- Некоторые команды реагируют на нарастающий или падающий фронт, так что они могут исполнять следующие функции:
 - Увеличивать или уменьшать значение счетчика;
 - Запускать таймер;
 - Выдавать единичный выход.
- Остальные команды непосредственно влияют на RLO следующим образом:

- Отрицают RLO;
- Сохраняют RLO в бите двоичного результата слова состояния.

В данной лабораторной работе используются следующие битовые логические операции:

Логическая операция «И»

В случае команды «И» можно опросить состояния сигналов по двум или более адресам, указанным на входах блока «И». Логическая операция «И» выдает на выходе 1 только тогда, когда все входные контакты имеют состояние равным 1. Если команда «И» является первой в цепи логических операций, то она сохраняет результат опроса состояния сигнала в бите RLO. Каждая команда «И», не являющаяся первой в цепи логических операций, комбинирует результат опроса состояния сигнала со значением, хранящимся в бите RLO. Эти значения комбинируются в соответствии с таблицей истинности для «И».

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	адрес	BOOL, TIMER COUNTER	I, Q, M, T, C, D, L	Адрес указывает бит, сигнал умножается

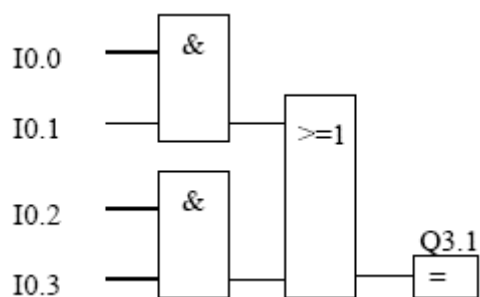
Логическая операция «ИЛИ»

Операция «ИЛИ» позволяет опросить сигналы на двух и более входах. Если хотя бы на одном из входов сигнал равен 1 то на выходе мы получим 1. Если команда «ИЛИ» является первой в цепи логических операций, то она сохраняет результат опроса состояния сигнала в бите RLO. Каждая команда «ИЛИ», не являющаяся первой в цепи логических операций, комбинирует результат опроса состояния сигнала со значением, хранящимся в бите RLO. Эти значения комбинируются в соответствии с таблицей истинности для «ИЛИ».

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	адрес	BOOL TIMER COUNTER	I, Q, M, T, C, D, L	Адрес определяет сигнальное состояние опрашиваемого бита

Логические операции «И перед ИЛИ» и «ИЛИ перед И»

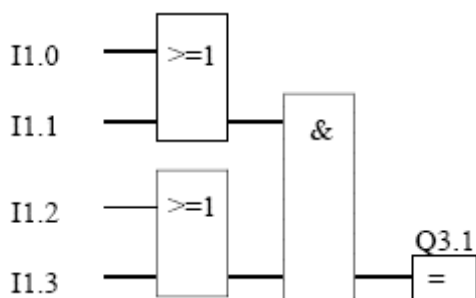
Если операции «И перед ИЛИ» результат операции определяется в соответствии с таблицей истинности для «ИЛИ». Результат будет равен 1 если хотя бы одна операция «И» даст результат 1.



Результат будет равен 1 если хотя бы одна операция «И» даст результат 1. Из примера: на выходе Q3.1 будет записана 1 если:

- на входе I0.0 и I0.1 будет 1;
- на входе I0.2 и I0.3 будет 1;
- на входах I0.0 и I0.1 I0.2 и I0.3 будет сигнал 1.

Если операции «ИЛИ перед И» результат операции определяется в соответствии с таблицей истинности для «И». Результат будет равен 1 если все операции «ИЛИ» дадут результат равным 1



Результат будет равен 1 если все операции «ИЛИ» дадут результат 1. Из примера: на выходе Q3.1 будет записан 0 если: Результат хотя бы на одном блоке «ИЛИ» будет равен 0, если


на входе I0.0 и I0.1 будет 0 --> 0;

на входе I0.2 и I0.3 будет 0 --> 0;
на входах I0.0 и I0.1 I0.2 и I0.3 будет сигнал 0
--> 0.

Биты слова состояния те же, что и в операции «И перед ИЛИ».


Добавление двоичного входа

Эта операция добавляет дополнительный двоичный вход в блок «И», «ИЛИ» или «Исключающее ИЛИ».

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	адрес	BOOL TIMER COUNTER	I, Q, M, T, C, D, L	Адрес определяет сигнальное состояние опрашиваемого бита

Отрицание двоичного входа

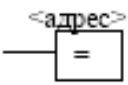
Команда «Отрицание двоичного входа» инвертирует Ваше значение (очень часто эту команду называют просто инверсией, которая превращает 1 в 0 или 0 в 1). Применять инверсию при программировании, можно как на входе так и на выходе любого элемента FBD.

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	Отсутствуют	—	—	—

Присваивание

Команда «Присваивание» выдает результат логической операции. Этот блок в конце логической операции имеет состояние 1 или 0. Эта логическая операция присваивает состояние сигнала выходу, к которому обращается эта команда (для достижения того же эффекта сигнальное состояние бита RLO могло бы быть присвоено этому операнду). Если условия логической операции FBD удовлетворяются, то на блоке выхода равно 1. В противном случае состояние сигнала равно 0. На команду «Присваивание» оказывает влияние Главное управляющее реле (MCR).

Блок «Присваивание» можно поместить только справа в конце цепочки логических операций. Однако, Вы можете использовать несколько таких блоков. Также можно создать инверсное присваивание с помощью команды «Отрицание двоичного входа».

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	адрес	BOOL	I, Q, M, D, L	Адрес указывает бит, которому присваивается значение сигнала цепочки логических операций

3.2 Таймерные команды

Таймеры имеют область, зарезервированную для них в памяти Вашего CPU. Эта область памяти резервирует одно 16-битное слово для каждого таймерного адреса. При программировании в FUP поддерживаются 256 таймеров. К области памяти таймеров имеют доступ следующие функции:

- Таймерные команды;
- Актуализация таймерных слов генератором тактовых импульсов. В режиме RUN эта функция CPU уменьшает заданное значение времени на одну

единицу с интервалом, установленным базой времени, пока значение времени не станет равным нулю.

Биты с 0 по 9 в таймерном слове содержат значение времени в двоичном коде. Значение времени задает количество единиц. Когда таймер актуализируется, значение времени уменьшается на одну единицу через интервалы, установленные базой времени. Значение времени уменьшается до тех пор, пока оно не станет равным нулю. Загружать значение времени можно в двоичном, шестнадцатеричном или двоично-десятичном (BCD) коде. Диапазон времени охватывает значения с 0 по 9 990 секунд.

Вы можете загрузить предварительно определенное значение времени с использованием следующего синтаксиса: S5T#aH_bbM_ccS_dddMS, где: a = часы, bb = минуты, cc = секунды и ddd = миллисекунды.

База времени выбирается автоматически и значение округляется до ближайшего меньшего числа с этой базой времени.

Максимальное время, которое Вы можете ввести, составляет 9 990 секунд или 2H_46M_30S. Биты 12 и 13 в таймерном слове содержат базу времени в двоичном коде. База времени определяет интервал времени, через который значение времени уменьшается на одну единицу. Минимальная база времени равна 10 мс; максимальная - 10 с.

База времени	Двоичный код для базы времени
10 мс	00
100 мс	01
1 с	10
10 с	11

Так как значения времени запоминаются только через один интервал времени, то значения, не являющиеся точными кратными интервала времени, округляются. Значения, разрешающая способность которых слишком велика для требуемого диапазона, округляются таким образом, что достигается требуемый диапазон, но не

желаемая разрешающая способность. Следующая таблица показывает возможные разрешающие способности и соответствующие диапазоны.

Разрешающая способность	База времени
0,01 секунды	от 10MS до 9S_990MS
0,1 секунды	от 100MS до 1M_39S_900MS
1 секунда	от 1S до 16M_39S
10 секунд	от 10S до 2HR_46M_30S

Когда таймер запускается, содержимое таймерной ячейки используется в качестве значения времени. Биты с 0 по 11 в таймерной ячейке содержат значение времени в двоично-десятичном формате (BCD-формат: каждая группа из четырех битов содержит двоичный код десятичного разряда). Биты 12 и 13 содержат базу времени в двоичном коде.

Каждый таймерный блок предоставляет два выхода, VI и BCD, для которых можно задать адрес слова. Выход VI предоставляет значение времени в двоичном формате, база времени не отображается. Выход BCD предоставляет базу времени и значение времени в двоично-десятичном формате (BCD).

При выборе подходящего таймера можно воспользоваться рисунком 20, который поможет Вам выбрать из пяти таймеров, которые могут подойти для решения Вашей задачи.

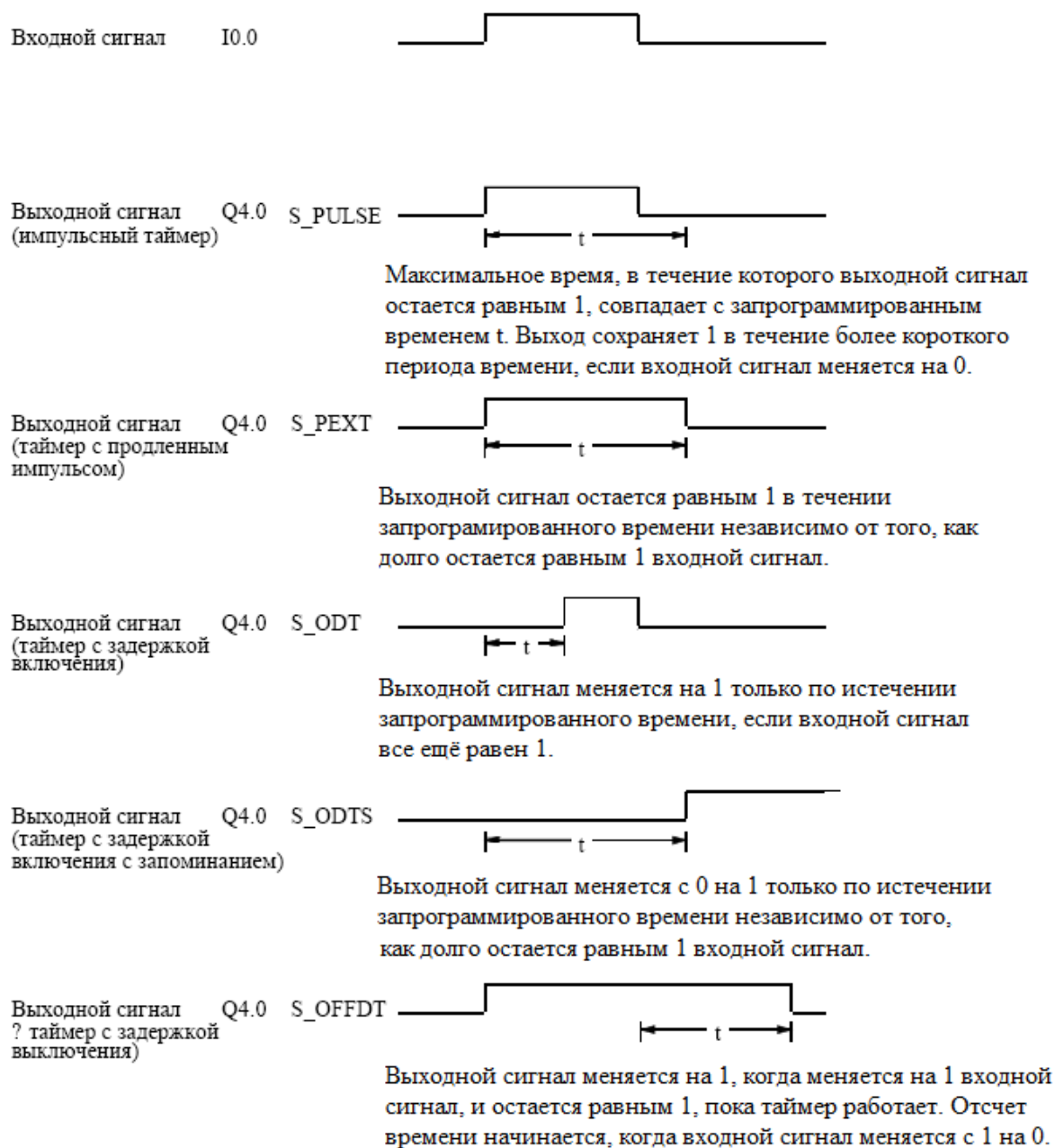


Рисунок 20 – Краткая характеристика таймеров

В данной лабораторной работе используются следующие таймерные команды:

Таймер с продленным импульсом

Команда «Таймер с продленным импульсом» запускает заданный таймер, если имеется нарастающий фронт на входе запуска(S). Для запуска таймера всегда необходимо изменение сигнала. Таймер продолжает работать в течение времени, заданного на входе TV, даже если состояние сигнала на входе S меняется на 0 до истечения заданного времени. Пока таймер работает, состояния сигнала на выходе Q дает 1. Таймер перезапускается с заданным временем, если состояние сигнала на входе S меняется с 0 на 1 во время работы таймера.

Если во время работы таймера происходит изменение с 0 на 1 сигнала на входе сброса (R), то таймер сбрасывается. Это изменение сбрасывает в ноль время и базу времени.

Текущее значение времени может быть опрошено на выходах BI и BCD. Значение времени на BI представлено в двоичном формате, а на BCD - в двоично-десятичном формате.

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	no.	TIMER	T	Номер идентификации таймера. Диапазон зависит от CPU.
	S	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Вход запуска
	TV	S5TIME	I, Q, M, D, L или константа	Уставка времени (от 0 до 9999)
	R	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Вход сброса
	BI	WORD	I, Q, M, D, L	Остаток времени (значение в целом формате)

	BCD	WORD	I, Q, M, D, L	Остаток времени (значение в формате BCD)
	Q	BOOL	I, Q, M, D, L	Состояние таймера

Таймер с задержкой включения

Команда «Таймер с задержкой включения» запускает заданный таймер, если имеется нарастающий фронт на входе запуска (S). Для запуска таймера всегда необходимо изменение сигнала. Таймер продолжает работать в течение времени, заданного на входе TV, пока состояние сигнала на входе S равно 1. Состояние сигнала на выходе Q дает 1, когда время истекло без ошибок и когда состояние сигнала на входе S все еще равно 1. Если состояние сигнала на входе S меняется с 1 на 0 во время работы таймера, таймер останавливается. В этом случае сигнал на выходе Q всегда дает 0.

Если во время работы таймера происходит изменение с 0 на 1 сигнала на входе сброса (R), то таймер сбрасывается. Это изменение сбрасывает в ноль время и базу времени. Таймер сбрасывается также, если состояние сигнала на входе R равно 1, когда таймер не работает.

Текущее значение времени может быть опрошено на выходах BI и BCD. Значение времени на BI представлено в двоичном формате, а на BCD - в двоично-десятичном формате.

Блок FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	no.	TIMER	T	Номер идентификации таймера. Диапазон зависит от CPU.
	S	BOOL	I, Q, M, D, L, T,	Вход запуска

			C	
	TV	S5TIME	I, Q, M, D, L или константа	Уставка времени (от 0 до 9999)
	R	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Вход сброса
	BI	WORD	I, Q, M, D, L	Остаток времени (значение в целом формате)
	BCD	WORD	I, Q, M, D, L	Остаток времени (значение в формате BCD)
	Q	BOOL	I, Q, M, D, L	Состояние таймера

3.3 Математические инструкции над числами с плавающей точкой

Можно использовать арифметические операции с плавающей точкой для выполнения следующих математических операций, использующих два 32-битных числа с плавающей точкой в формате IEEE:

- сложение;
- вычитание;
- умножение;
- деление.

32-битные числа с плавающей точкой в формате IEEE принадлежат к типу данных, известному как REAL (вещественные). Используя арифметику с плавающей точкой, Вы можете выполнять следующие операции с одним 32-битным числом с плавающей точкой в формате IEEE:

- образование абсолютного значения (ABS) числа с плавающей точкой;
- образование натурального логарифма (LN) числа с плавающей точкой;

- образование квадрата (SQR) или квадратного корня (SQRT) числа с плавающей точкой;
- образование экспоненциального значения числа с плавающей точкой (EXP) по основанию e ($= 2.7182\dots$);
- образование следующих тригонометрических функций угла, представленных в виде 32-битного числа с плавающей точкой:
 - образование синуса числа с плавающей точкой (SIN) и формирование арксинуса числа с плавающей точкой (ASIN);
 - образование косинуса числа с плавающей точкой (COS) и образование арккосинуса числа с плавающей точкой (ACOS);
 - образование тангенса числа с плавающей точкой (TAN) и образование котангенса числа с плавающей точкой (ATAN).
- В данной лабораторной работе используются следующие математические инструкции:

Сложение чисел с плавающей точкой

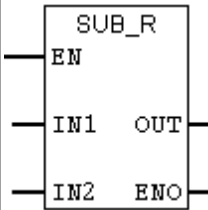
Состояние сигнала 1 на входе EN (деблокировка входа) активизирует команду «Сложить числа с плавающей точкой» в функциональном плане (FBD). Эта команда складывает входы IN1 и IN2. Результат можно считать на OUT. Если один из входов или выход не являются числом с плавающей точкой, то биты OV и OS слова состояния равны 1, а ENO равно 0.

Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	INT	I, Q, M, D, L или константа	Первое слагаемое
	IN2	INT	I, Q, M, D, L или	Второе слагаемое

			константа	
	OUT	INT	I, Q, M, D, L	Результат сложения
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

Вычитание чисел с плавающей точкой

Состояние сигнала 1 на входе EN активизирует команду «Вычесть числа с плавающей точкой». Команда вычитает вход IN2 из IN1. Результат считывается на OUT. Если один из входов или выход не являются числом с плавающей точкой, то биты OV и OS слова состояния равны 1, а ENO равно 0.

Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	INT	I, Q, M, D, L или константа	Уменьшаемое
	IN2	INT	I, Q, M, D, L или константа	Вычитаемое
	OUT	INT	I, Q, M, D, L	Результат вычитания
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

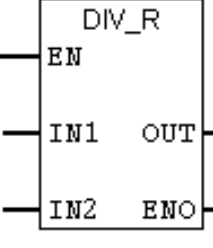
Умножение чисел с плавающей точкой

Данная команда перемножает входы IN1 и IN2 если на входе EN сигнал равен 1. Результат считывается на OUT. Если один из входов или выход не являются числом с плавающей точкой, то биты OV и OS слова состояния равны 1, а ENO равно 0.

Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	INT	I, Q, M, D, L или константа	Первый множитель
	IN2	INT	I, Q, M, D, L или константа	Второй множитель
	OUT	DINT	I, Q, M, D, L	Результат умножения
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

Деление чисел с плавающей точкой

Эта команда делит вход IN1 на IN2, команда выполняется только если сигнал на входе EN равен 1. Результат считывается на OUT. Если один из входов или выход не являются числом с плавающей точкой, то биты OV и OS слова состояния равны 1, а ENO равно 0.

Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	INT	I, Q, M, D, L или константа	Делимое
	IN2	INT	I, Q, M, D, L или константа	Делитель
	OUT	INT	I, Q, M, D, L	Результат деления
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

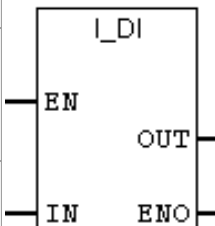
3.4 Функции преобразования

Функции преобразования конвертируют типы данных переменных.

Преобразование из INT в DINT

Функция I_DI интерпретирует значение на входе IN как число типа данных INT и преобразует его в число типа данных DINT. Результат считывается на OUT. ENO всегда имеет то же состояние сигнала, что и EN.

Преобразование из INT в DINT об ошибках не сообщает.

Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	INT	I, Q, M, D, L или константа	Значение для преобразования
	OUT	DINT	I, Q, M, D, L	Результат
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

Преобразование из DINT в REAL

Функция DI_R интерпретирует значение на входе IN как число типа данных DINT и преобразует его в число типа REAL. Результат считывается на OUT. ENO всегда имеет то же состояние сигнала, что и EN.

Функция DI_R об ошибке не сообщает.

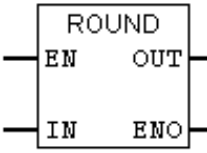
Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	DINT	I, Q, M, D, L или	Значение для

			константа	преобразования
	OUT	REAL	I, Q, M, D, L	Результат
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

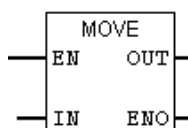
Преобразование из DINT в REAL

Функция ROUND интерпретирует значение на входе IN как число типа данных REAL и преобразует его в число типа DINT. ROUND возвращает следующее целое число. Если результат находится точно между нечетным и четным числом, предпочтение отдается четному числу.

Если значение на входе IN находится вне диапазона, допустимого для чисел в формате DINT, или оно не соответствует числу в формате REAL, то ROUND устанавливает биты состояния OV и OS. Преобразование не выполняется.

Элемент FBD	Параметры	Тип данных	Область памяти	Описание
	EN	BOOL	I, Q, M, D, L, T, C	Деблокировка входа
	IN1	REAL	I, Q, M, D, L или константа	Значение для преобразования
	OUT	DINT	I, Q, M, D, L	Результат
	ENO	BOOL	I, Q, M, D, L	Деблокировка выхода

3.5 Функции передачи



В дополнение к разрешающему входу (enable input) EN и разрешающему выходу ENO блочный элемент MOVE имеет вход IN и выход OUT. На входе IN и выходе

OUT вы можете задействовать все цифровые операнды и цифровые переменные простых типов данных (за исключением BOOL – логического типа). Переменные у входа IN и выхода OUT могут иметь разные типы данных.

4 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На рисунке 21 представлена структурная схема лабораторного стенда, позволяющая исследовать контроллер SIMATIC S7-300.

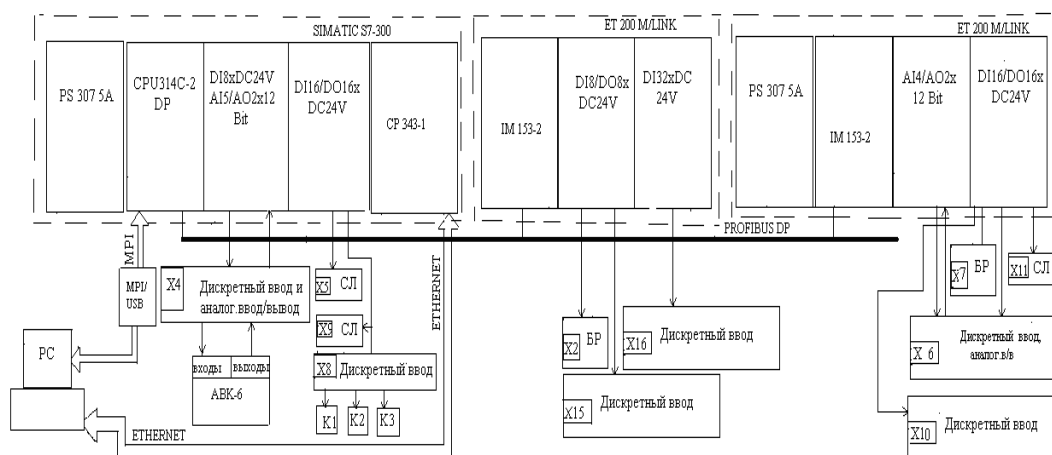


Рисунок 21 – Структурная схема лабораторного стенда

В данный лабораторный комплекс входят модули контроллера: блок питания PS 307 5A (307-1EA00-0AA0), центральный процессор CPU 314C – 2 DP (314-6CG03-0AB0) с встроенные модули: дискретного ввода DI8xDC24V и аналогового ввода/вывода AI5/AO2x12Bit, коммуникационный модуль CP 343–1 для организации последовательной передачи данных по Ethernet интерфейсу, станции распределенного ввода ET200M/LINK (IM 153-2) с заказным номером 153-2BA02-0XB0, модули ввода/вывода дискретного сигнала DI 32xDC24V (321-1BL00-0AA0) и DI8/DO8xDC24V (323-1BH01-0AA0), модуль аналогового ввода/вывода AI4/AO2x12Bit (334-0KE00-0AB0), модуль дискретного ввода/вывода DI16/DO16xDC24V (323-1BL00-0AA0), а также 2 блока реле (X2, X7), АВК (аналогового – вычислительный комплекс) для создания математической модели САУ. Также на стенде присутствуют клеммные колодки для ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов. X4, X6, X8, X10, X15, X16 - обозначение клеммных колодок. Каналы модуля ввода аналогового сигнала поступают на клеммную колодку X4, где осуществляется ввод сигнала с АВК. Каналы модуля ввода дискретного сигнала поступают на колодки X15, X16, X8 и X10. На X8 осуществляется ввод дискретного сигнала при помощи кнопок. Каналы модуля вывода дискретного сигнала поступают на блоки реле X2 и X7, где осуществляется

вывод дискретного сигнала при помощи сигнального табло. Тип клеммных соединений – «сухой контакт».

Назначение данного лабораторного стенда – ввод аналогового сигнала, ввод/вывод дискретного сигнала, то есть реализация программно-логического управления САУ с дискретными сигналами и контроль за САУ с аналоговыми сигналами.

5 ПРОГРАММА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПСЕВДОЛИНЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ FBD В ПАКЕТЕ STEP 7

Для реализации представленной САУ передаточные функции элементов были преобразованы в последовательность элементарных математических операций, легко реализуемых на языке FBD в STEP 7.

- Передаточная функция ОУ

$$W_{OP}(s) = \frac{K_o}{T_1 s^2 + T_2 s + 1} \quad (21)$$

преобразуется в последовательность элементарных математических операций следующим образом:

$$\frac{K_o}{T_1 s^2 + T_2 s + 1} = \frac{1}{s^2} \cdot \frac{K_o}{T_1 + \frac{T_2}{s} + \frac{1}{s^2}} = \frac{1}{s^2} \cdot K_o \cdot \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{1 + T_2 \cdot \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{s^2}}$$

Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных звеньев будет выглядеть согласно рисунку 22:

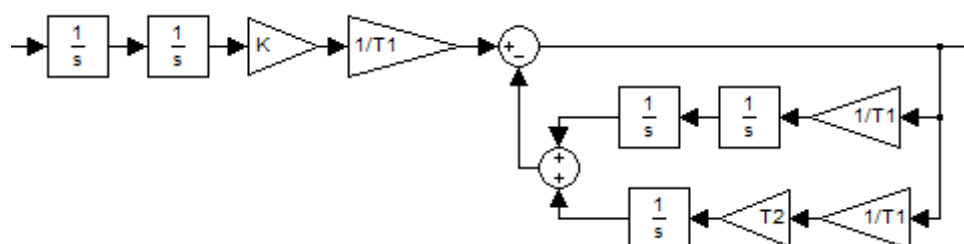


Рисунок 22– Структурная схема ОУ в виде совокупности элементарных
звеньев

- Передаточная функция регулятора:

$$W_p(s) = k_{PEG} \cdot \left(k_{II} + \frac{1}{T_{II}s} + \frac{k_D T_D s}{T_D s + 1} \right), \quad (22)$$

где $k_{PEG} = k_{II}$, $T_{II} = \frac{k_{PEG}}{k_{II}}$, $T_D = \frac{k_D}{k_{PEG}}$.

Дифференциальное звено регулятора в виде совокупности элементарных

звеньев:
$$\frac{Kd \cdot s}{Td \cdot s + 1} = \frac{Kd}{Td} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{Td} \cdot \frac{1}{s}}$$

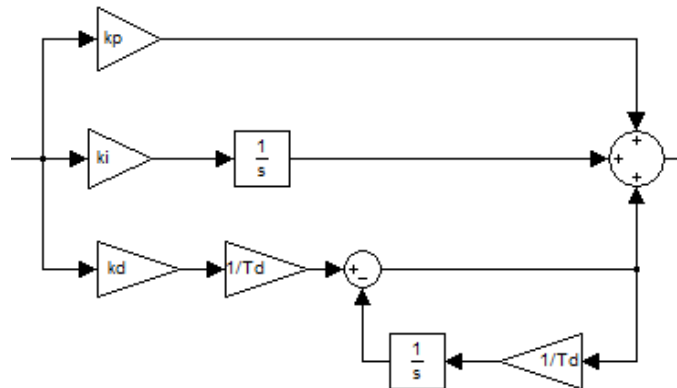


Рисунок 23 – Структура ПИД-регулятора в виде совокупности элементарных звеньев

Интегрирующий канал регулятора реализуется следующим образом:

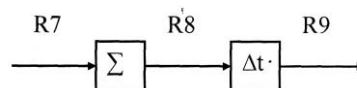


Рисунок 24 – Представление интегрирующего канала регулятора

Интегратор заменяется суммой с определенным шагом дискретизации.

Шаг дискретизации примем равным 0.05.

- Передаточная функция амплитудного $W_A(s)$ канала КУ преобразуем следующим образом:

$$W_A(s) = \frac{k}{T_2 s + 1} = \frac{k}{s} \cdot \frac{1}{T_2 + \frac{1}{s}} = \frac{k}{s} \cdot \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{s}} = k \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{s}},$$

Таким образом, структурная схема КУ представлена на рисунке 25:

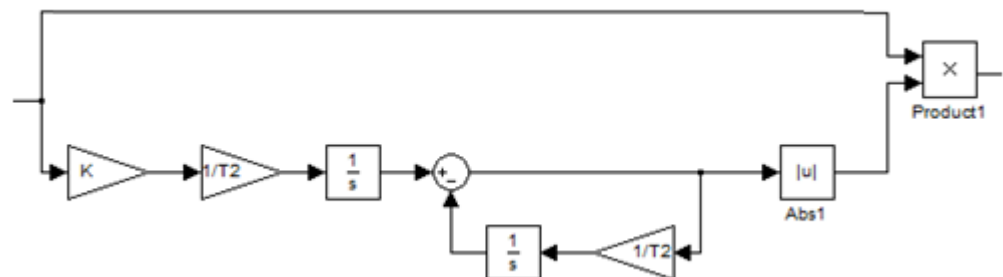


Рисунок 25 – Структурная схема КУ в виде совокупности элементарных звеньев

- Сначала необходимо создать программу работы системы без КУ с параметрами ОУ $K_o = 1$, $T_1 = 0.5$, $T_2 = 2$. Данные параметры характеризуют устойчивый монотонный переходный процесс.

Уставка вводится в целочисленном виде. Поэтому необходимо конвертировать ее в число с плавающей точкой.

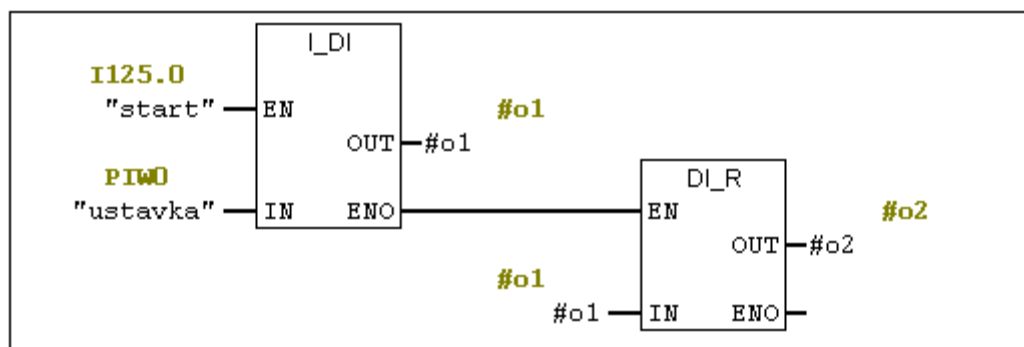


Рисунок 26 – Первый сегмент программы

Данный сегмент программы отвечает за преобразование входного сигнала типа INT в сигнал типа DINT, затем преобразование сигнала типа DINT в сигнал типа REAL

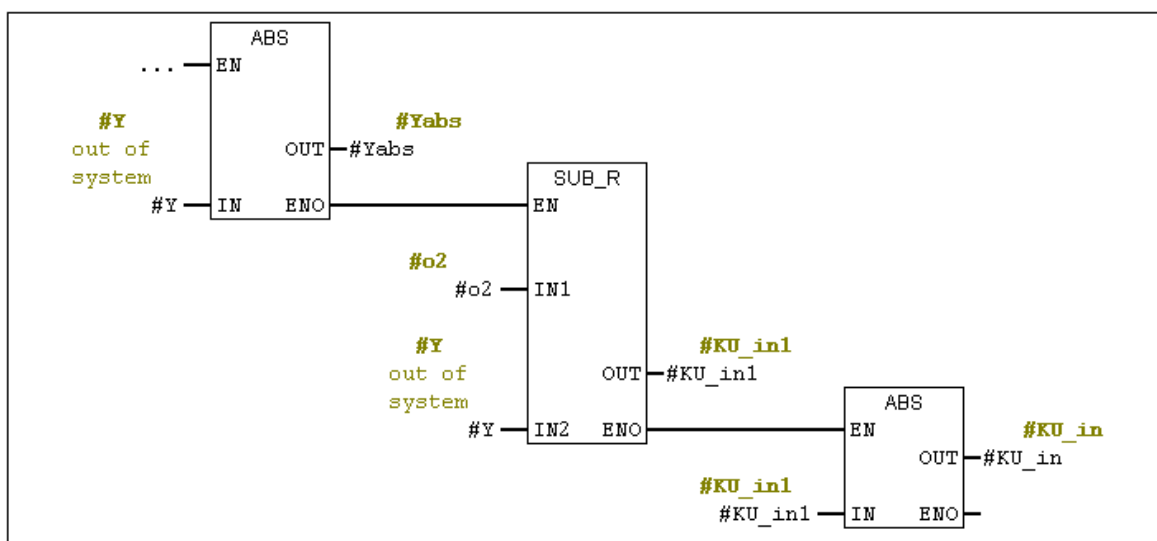


Рисунок 27 – Второй сегмент программы

Второй сегмент программы отвечает за вычитание сигнала обратной связи из основного сигнала.

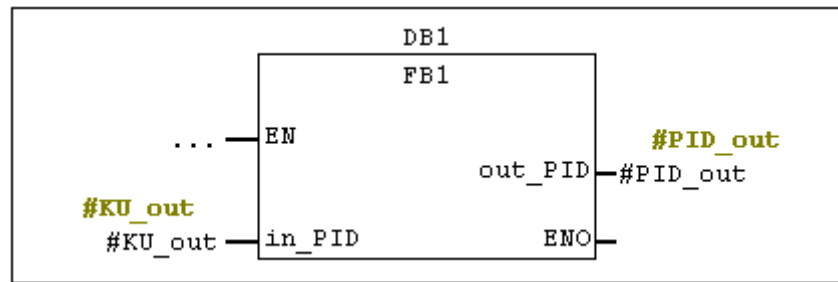
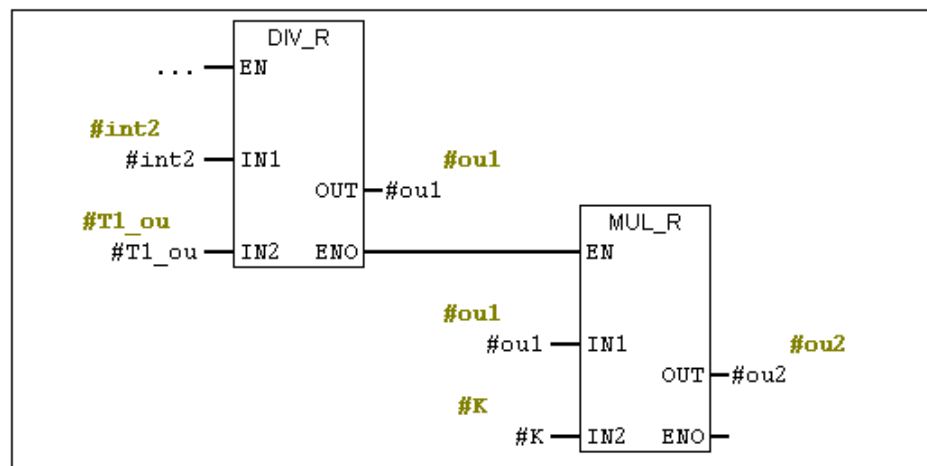
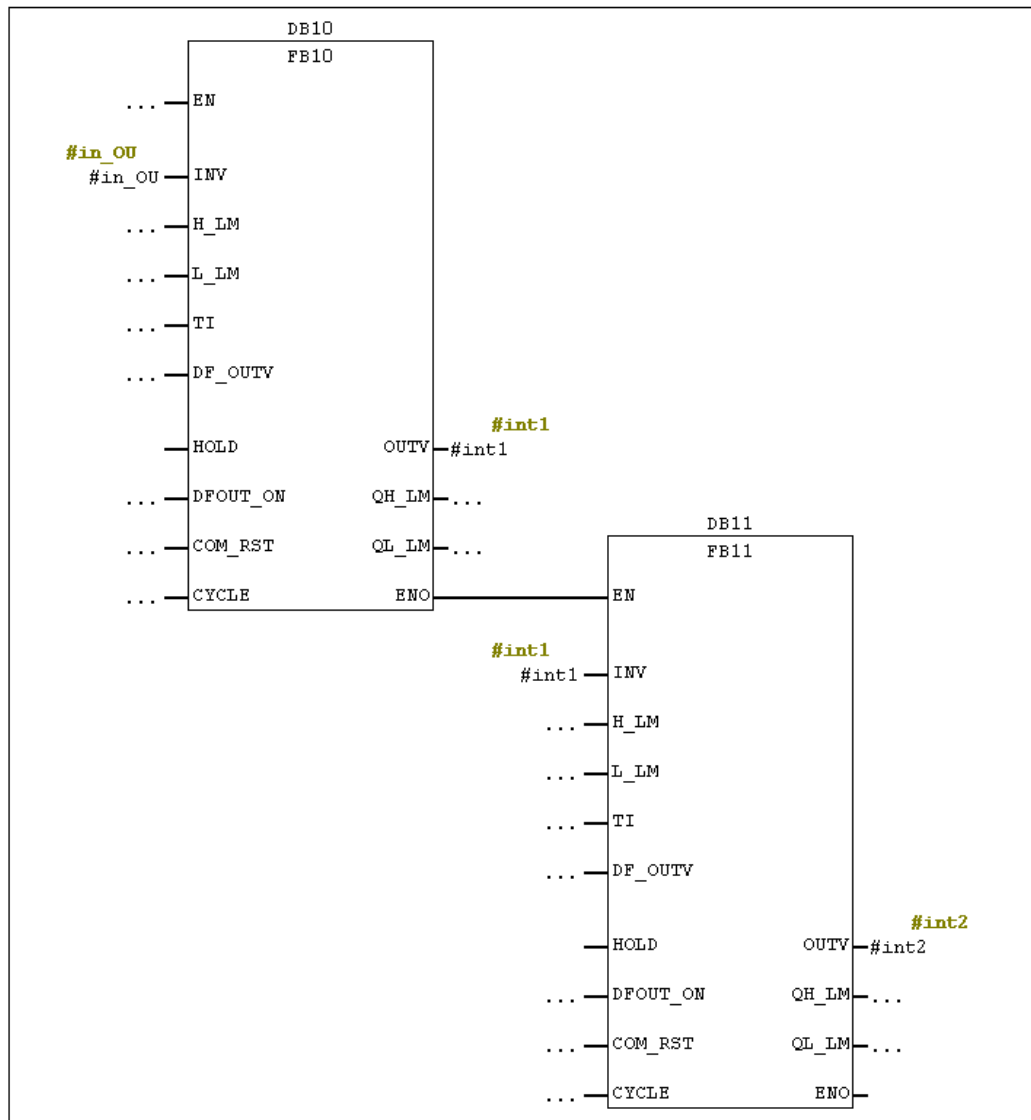
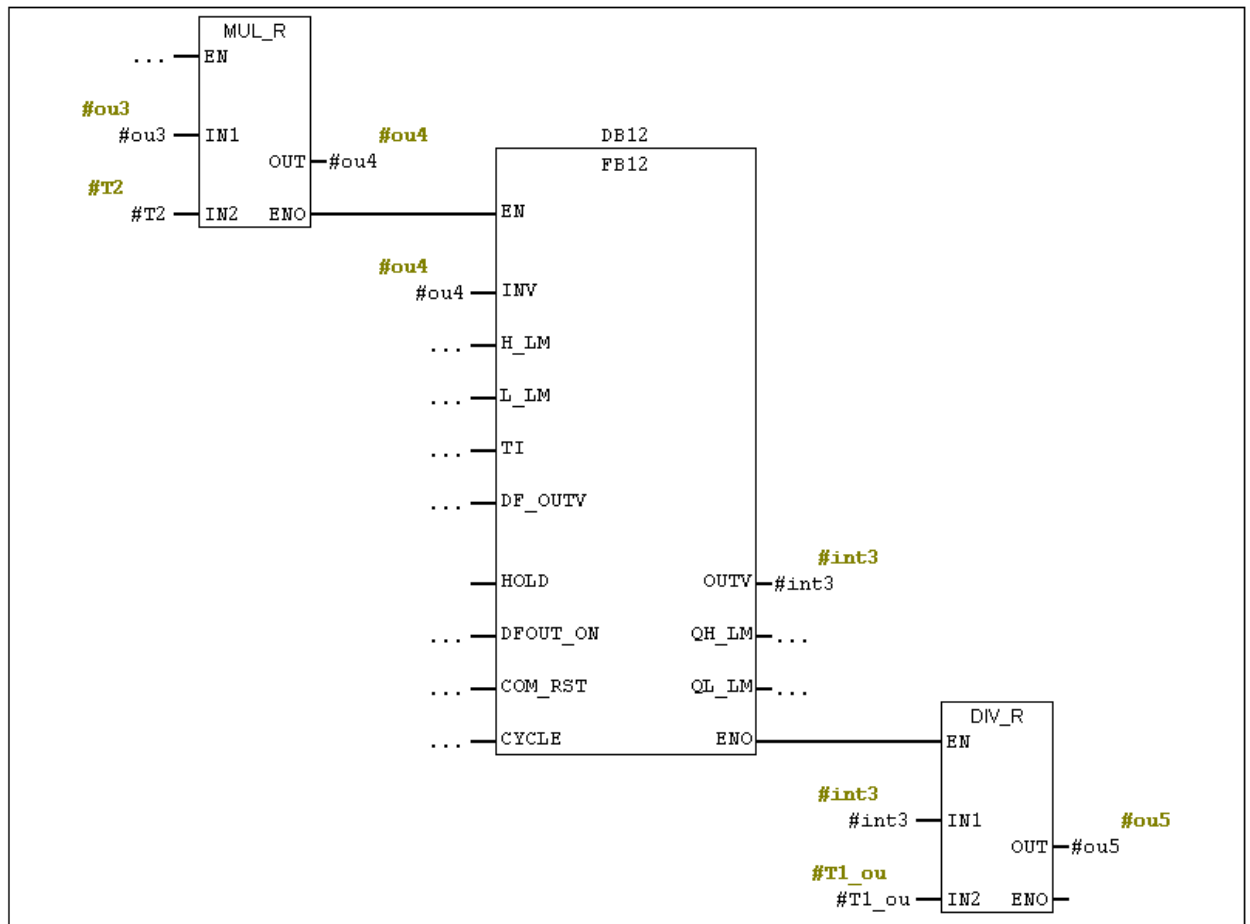
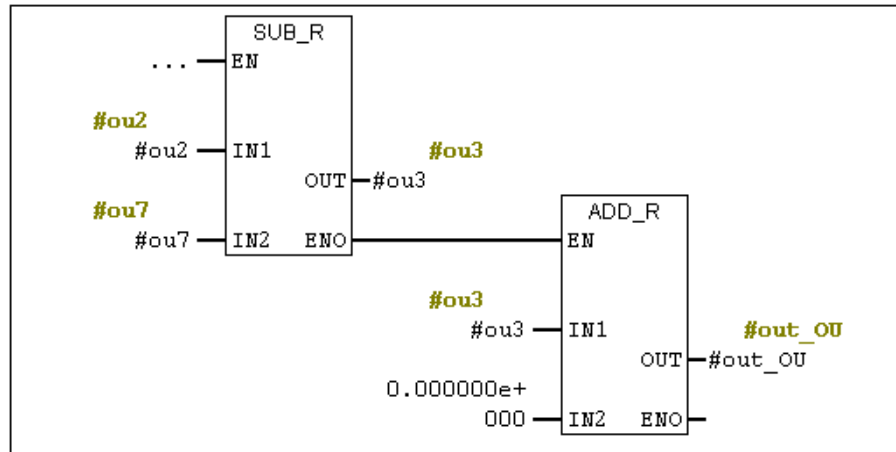


Рисунок 28 – Третий сегмент программы

Третий сегмент отвечает за работу ПИД-регулятора, который организован в отдельном функциональном блоке. Реализация ПИД-регулятора осуществляется согласно схеме на рисунке 23.





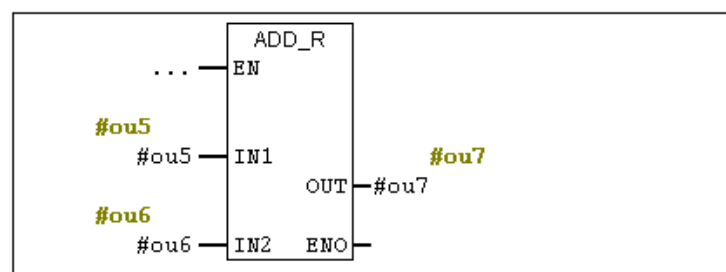
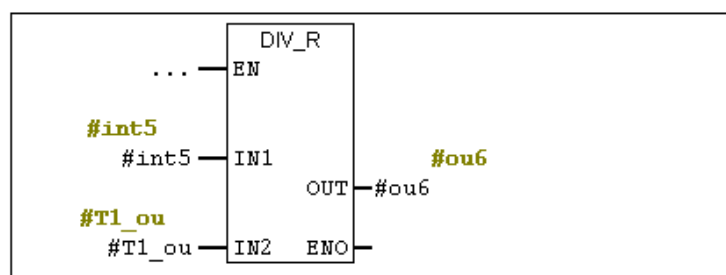
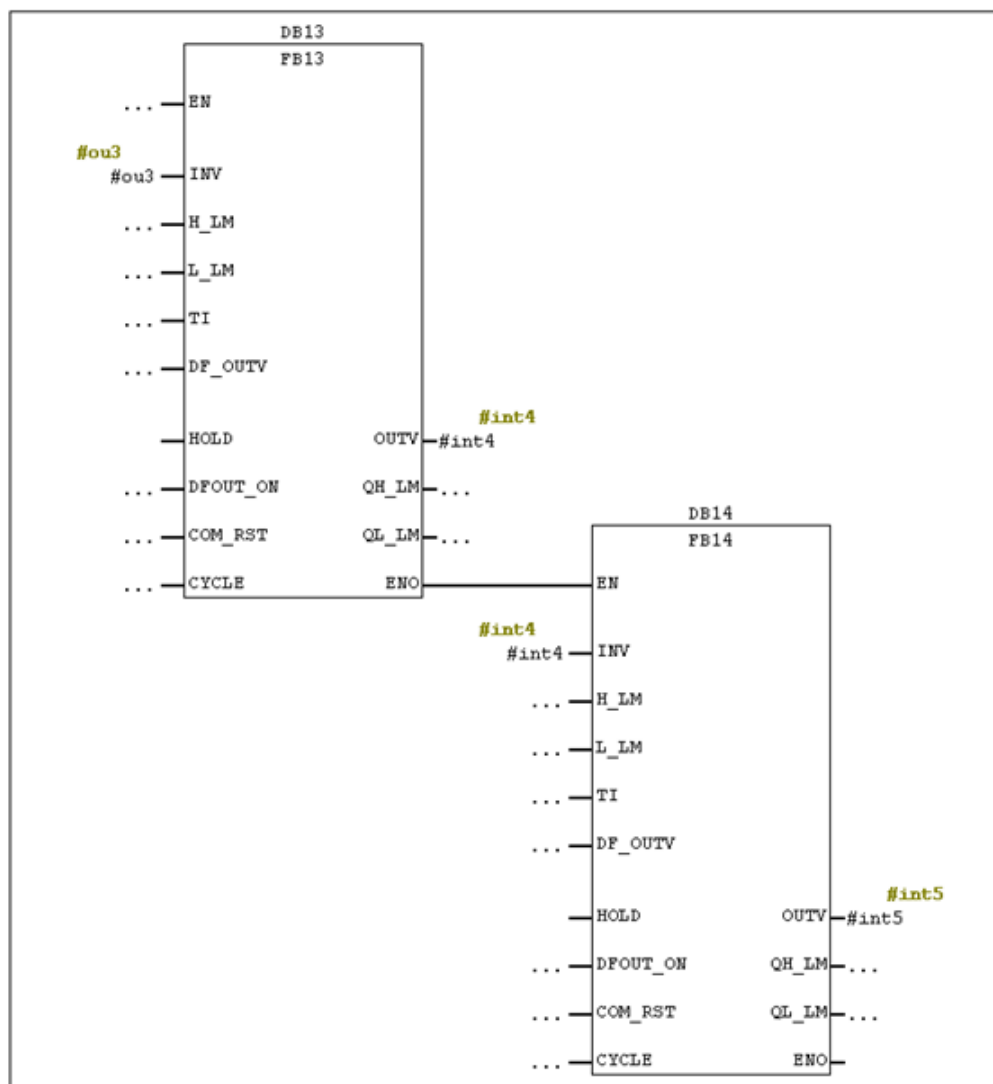


Рисунок 29 – Сегменты программы с 4 по 10

В сегментах с четвертого по десятый – организована работа ОУ согласно схеме, изображенной на рисунке 22.

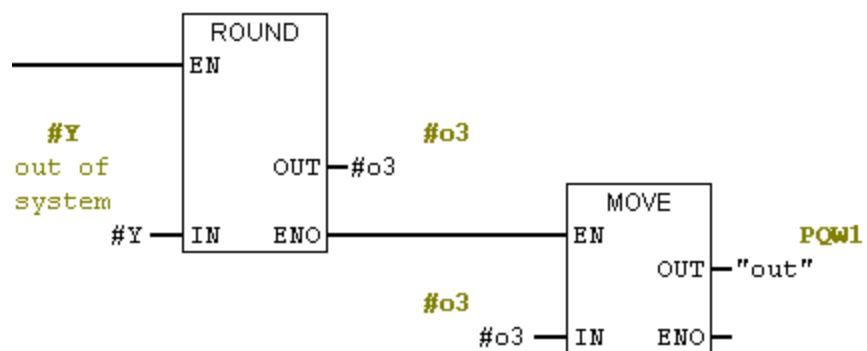


Рисунок 30 – Сегмент 11 программы

Сегмент 11 программы отвечает за преобразование выходного сигнала типа REAL в сигнал типа DINT и передачу сигнала на выход.

6 ЗАДАНИЕ

Заданием на выполнение лабораторной работы предусматривается следующая работа:

- Реализация САУ с амплитудным КУ. Реализация КУ осуществляется согласно структурной схеме КУ, представленной на рисунке 25.
- Оптимизация программы с целью компактности программы без изменения ее функциональности.
- Тестирование работы программы на симуляторе PLCSIM и контроллере SIMATIC S7-300.

7 ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) структурную схему лабораторного стенда;
- 3) задание;
- 4) схема программы;
- 5) выводы по работе.

Учебное издание

Жуматай Абусамат Канатулы

ИЗУЧЕНИЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА

Методические указания к выполнению лабораторной работы
№____ по курсу «_____» для студентов
направления _____

Подписано к печати _____. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл. печ. л. 9,01. Уч.-изд. л. 8,16.

Заказ _____. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru